

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

Scuola di Medicina e Chirurgia



**DOTTORATO DI RICERCA
IN
SANITÀ PUBBLICA E MEDICINA PREVENTIVA**

CICLO XXIX

Coordinatore

Prof.ssa Stefania Montagnani

**BIOIMPEDENZIOMETRIA E VALUTAZIONE
DELL'EFFICIENZA FISICA NELLA SORVEGLIANZA
NUTRIZIONALE IN ETA' EVOLUTIVA**

Tutor

Prof. Luca Scalfi

Candidata

Dott.ssa Marta La Greca

ANNO ACCADEMICO 2016 – 2017

INDICE

1. Introduzione	8
1.1 L'alimentazione in età evolutiva	9
1.2 La malnutrizione nei bambini e negli adolescenti	13
1.2.1 Malnutrizione per eccesso in età evolutiva	15
1.3 Eccesso ponderale: dati epidemiologici e sorveglianza nutrizionale	20
1.4 La composizione corporea in età evolutiva	26
1.4.1 Variazioni della massa magra e del contenuto in acqua	26
1.4.2 Variazioni del grasso corporeo	30
1.4.3 Variazioni dell'indice di massa corporea	32
1.5 Valutazione della composizione corporea in età evolutiva	32
1.5.1 Antropometria	34
1.5.2 Bioimpedenziometria	36
1.5.2.1 Variabili BIA tal quali	38
1.5.2.2 Equazioni predittive	40
1.5.3 Metodiche per la valutazione della composizione corporea in età evolutiva alternative all'antropometria e alla bioimpedenziometria	41

1.6 Efficienza fisica in età evolutiva	43
1.6.1 Le componenti dell'efficienza fisica	45
1.6.1 Variazioni della forza muscolare in età evolutiva	47
1.7 Valutazione dell'efficienza fisica in età evolutiva	48
1.7.1 Batterie di test per la valutazione dell'efficienza fisica in età evolutiva	51
1.8 Relazioni tra composizione corporea ed efficienza fisica in età evolutiva	53
1.9 Esercizio ed efficienza fisica nei bambini e adolescenti con eccesso ponderale	54
1.10 Tabelle e figure	59
2. Obiettivi generali	74
3. Individui e metodi	75
3.1 Protocollo sperimentale	75
3.1.1 Antropometria	76
3.1.2 Analisi bioimpedenziometrica e composizione corporea	78
3.1.3 Valutazione dell'efficienza fisica	82
3.2 Statistica	87
3.3 Figure	88
4. Studio 1: “Valutazione della composizione corporea mediante BIA MF in età evolutiva”	91
4.1 Premessa ed obiettivi	91

4.2 Individui e metodi	93
4.3 Risultati	95
4.4 Discussione	102
4.5 Conclusioni	108
4.6 Tabelle e figure	110
5. Studio 2: “Relazioni tra variabili BIA MF tal quali ed efficienza fisica in bambini e adolescenti”	135
5.1 Premessa ed obiettivi	135
5.2 Individui e metodi	137
5.3 Risultati	139
5.4 Discussione	143
5.5 Conclusioni	153
5.6 Tabelle e Figure	155
6. Studio 3 : “Composizione corporea ed efficienza fisica in bambini e adolescenti sovrappeso e obesi”	171
6.1 Premessa ed obiettivi	171
6.2 Individui e metodi	172
6.3 Risultati	174
6.4 Discussione	180
6.5 Conclusioni	185

6.6 Tabelle e figure	186
7. Conclusioni generali	207
8. Bibliografia	210

ACRONIMI

AF	Angolo di fase
BCM	Massa cellulare corporea (Body Cell Mass)
BIA	Bioimpedenziometria (Body Impedance Analysis)
BIA SF	BIA monofrequenza (Single Frequency)
BIA SP	BIA a spettroscopia (Spettroscopy)
BIA MF	BIA multifrequenza (Multi Frequency)
BMI	Indice di massa corporea (Body Mass Index)
BMI SDS	BMI z-score (BMI Standard Deviation Score)
CV	Circonferenza della vita
CV/H	Rapporto tra circonferenza della vita e statura
DXA	Assorbimetria a raggi X (Dual-energy X Absorptiometry)
ECW	Acqua extracellulare (Extra-Cellular Water)
Emilato D	Emilato dominante
Emilato ND	Emilato non dominante
FFM	Massa magra alipidica (Fat Free Mass)
FM	Massa lipidica (Fat Mass)
HGS	Forza di presa della mano (Hand-Grip Strength)

ICW	Acqua intracellulare (Intra-Cellular Water)
Indice BI	Indice bioimpedenziometrico
IR	Rapporti multifrequenza (Impedance Ratio)
TBW	Acqua corporea totale (Total Body Water)
Test SALTO 1	Test del salto singolo
Test SALTO 5	Test dei cinque salti
Test SEDIA	Test della sedia
RM	Risonanza magnetica
WHR	Rapporto tra circonferenza vita e circonferenza fianchi (Waist to Hip Ratio)
6 MWT	Test della camminata dei 6 minuti (6 Minutes Walking Test)

1. INTRODUZIONE

La sorveglianza nutrizionale è un sistema integrato di attività mirate alla raccolta sistematica e continuativa di dati e alla loro rapida analisi con la finalità di “documentare la presenza e la distribuzione in una popolazione di stati morbosi associati o mediati dalla dieta, allo scopo di stabilirne le cause, di individuarne le tendenze nel tempo, nello spazio e negli strati sociali, di predirne le modifiche, di mettere a fuoco le priorità e di consentire un preciso orientamento delle misure correttive e preventive” (WHO, 1976).

Al fine di controllare e prevenire le patologie correlabili a fattori di rischio nutrizionali risulta indispensabile attuare piani di sorveglianza nutrizionale che impieghino metodiche idonee, atte a valutare lo stato nutrizionale e l'efficienza fisica dei soggetti in età evolutiva.

Lo stato nutrizionale viene inteso come la condizione risultante dall'introduzione, l'assorbimento e l'utilizzazione dei nutrienti. Pertanto, esso rappresenta anche la risultante di composizione corporea, energia e funzionalità corporea, strettamente correlate tra loro e determinanti per lo stato di salute generale dell'organismo. La valutazione dello stato di nutrizione in età evolutiva è importante per monitorare lo stato di salute e la crescita di bambini e adolescenti, verificandone indirettamente l'acquisizione di uno stile di vita sano, con un'alimentazione adeguata e opportuni livelli di attività fisica.

L'efficienza fisica può essere considerata un indicatore dello stato di salute dell'individuo, sia in età adulta che in età evolutiva. Numerosi studi condotti su bambini e adolescenti hanno dimostrato la forte associazione tra efficienza fisica e un ridotto rischio futuro di malattie cardio-vascolari, metaboliche e cronico-degenerative (Ortega, 2008; Smith et al. 2014; Cattuzzo et al.; 2016).

La composizione corporea e l'efficienza fisica rappresentano due aspetti profondamente legati tra loro in quanto l'efficienza fisica dipende dalla composizione corporea e la composizione corporea, essendo influenzata dal livello di attività fisica, dipende dall'efficienza fisica.

Alla luce di quanto scritto, allo stato attuale è importante identificare metodologie di ricerca utilizzabili efficacemente in età evolutiva, nell'ambito della sorveglianza nutrizionale, per valutare questi due aspetti della fisiologia. Alla fase di identificazione dovrà far seguito quella di determinazione di standard adeguati per la popolazione italiana in età evolutiva, sia per quanto riguarda le metodiche di analisi della composizione corporea che per i test di valutazione dell'efficienza fisica.

1.1 L'alimentazione in età evolutiva

Una corretta alimentazione in età evolutiva è di fondamentale importanza per garantire uno sviluppo fisico e psicologico ottimale e preservare il più possibile uno stato di buona salute anche in età adulta (Zangara A. et al., 2014).

La qualità e la quantità del cibo introdotto nell'organismo e la capacità di utilizzarlo, trasformandolo in energia per il lavoro fisico, il mantenimento della temperatura corporea e la manutenzione e costruzione di nuovi tessuti, influenzano il benessere dell'individuo sia nel breve che nel lungo periodo. Inoltre, sebbene i parametri antropometrici di un individuo siano geneticamente determinati, certamente con una alimentazione sana è possibile garantirne al massimo il potenziale di crescita .

L'alimentazione in età prescolare è di pertinenza specialistica ed è importante che i genitori si attengano alle direttive fornite dal pediatra privilegiando l'allattamento al seno all'allattamento artificiale almeno fino al

6° mese di età. Dai 4 ai 6 mesi ha inizio lo svezzamento, con l'introduzione graduale dei cibi nell'alimentazione del bambino, secondo un ordine e una tempistica che vanno adeguati alle diverse esigenze individuali.

In età scolare le esigenze nutrizionali, in termini di apporto energetico e di principi nutritivi, variano a seconda delle caratteristiche del soggetto. In particolare, alcune delle variabili determinanti ai fini della personalizzazione del piano alimentare sono il genere, l'età, l'altezza, il peso, lo stadio puberale e il livello di attività fisica.

In generale, le linee guida per una sana alimentazione (Inran, 2003) suggeriscono in questa fascia di età di limitare il consumo di grassi di origine animale, privilegiando tra quelli di origine vegetale l'olio extravergine di oliva, limitare il consumo di cibo fritto, ridurre il sale, non eccedere con le carni conservate e con gli alimenti iperlipidici e ad elevata densità calorica, moderare il consumo di cibi e bevande dolci, in particolare quelli con saccarosio che si attaccano facilmente ai denti, effettuare quotidianamente tre pasti principali e due spuntini, assumere 3 porzioni di frutta e 2 di verdura ogni giorno.

La necessità di inserire nell'arco della giornata due spuntini tra i pasti principali nasce dall'esigenza di coprire i fabbisogni nutrizionali di un organismo in accrescimento. Ma è importante altresì che tali spuntini non forniscano eccessive calorie per non pregiudicare l'appetito prima del pranzo e della cena. E' fondamentale variare l'alimentazione, evitando la monotonia che rischierebbe di non garantire l'apporto di tutti i nutrienti necessari. In tal senso, i bambini e gli adolescenti vanno educati ad un consumo frequente di frutta e verdura, fonti preziose di vitamine e di sali minerali.

Vanno assicurati infatti i giusti apporti di proteine, di vitamine e di sali minerali. In particolare, fondamentale è garantire l'assunzione idonea di vitamina C, vitamina D, vitamine del complesso B e, di calcio, ferro e iodio.

Poiché le abitudini alimentari acquisite in tenera età hanno ottime probabilità di permanere durante la maturità, è bene essere coscienti di comportamenti alimentari scorretti per poterli combattere in modo mirato il più precocemente possibile.

Gli errori più frequentemente commessi dai bambini possono essere così riassunti:

- evitare o ridurre eccessivamente la colazione del mattino;
- evitare gli spuntini intermedi della mattina e del pomeriggio o scegliere prodotti appetibili dal punto di vista organolettico ma dallo scarso valore nutrizionale;
- evitare o consumare raramente verdura e frutta;
- eccedere nel consumo di alimenti come salumi, cioccolata, patatine fritte, caramelle e altri dolci confezionati (con i relativi problemi connessi al diffondersi della carie dentale) e di bevande gassate (ricche di zucchero e spesso di caffeina);
- scegliere i cibi tipici dei “fast-food” , ricchi di calorie, grassi saturi, sale e zuccheri semplici e poveri di fibra e vitamine.

L'adolescenza, che è il periodo della vita caratterizzato dalla transizione dallo stato infantile all'età adulta, è una fase estremamente delicata perché contrassegnata da importanti mutamenti fisiologici in un quadro di generale consolidamento delle strutture fisiche e psichiche. Si osservano, durante questo periodo, tra le altre cose, un'accelerazione dell'incremento staturale, la maturazione sessuale e lo sviluppo psicologico-emozionale.

Il verificarsi di un accrescimento particolarmente rapido determina l'esigenza di un introito di energia e di nutrienti maggiore, in prima istanza relativamente alle proteine, al ferro, al calcio e alle vitamine A, C e D.

Un'attenzione speciale va posta alle ragazze adolescenti, le quali hanno bisogno di essere ben alimentate sia per lo sviluppo tipico di questa fase della vita che per i futuri stress della gravidanza.

In particolare, nelle adolescenti si osserva un incremento del fabbisogno in ferro, che se non soddisfatto potrebbe comportare la comparsa di anemie da carenza di ferro, e del calcio, che se insufficiente potrebbe determinare una ridotta mineralizzazione dello scheletro ed una più precoce e grave osteoporosi nell'età matura.

Proprio in questo periodo della vita così delicato, sovente si adottano stili alimentari disordinati, inadeguati rispetto alle reali esigenze dell'organismo e pericolosamente monotoni per uniformarsi a vere e proprie mode finalizzate al raggiungimento di obiettivi estetici spesso lontani dai canoni che rifletterebero un buono stato di salute.

Come è riportato nelle Linee guida per una sana alimentazione (Inran, 2003), in Italia le adolescenti presentano i livelli di assunzione di calcio e ferro più bassi fra tutti i gruppi di età. Per tale ragione, si consiglia il consumo quotidiano di latte e yogurt, meglio se parzialmente scremati, l'assunzione di 5 porzioni di frutta e verdura al dì, la scelta di fonti proteiche quali pesce, carni magre e legumi e costante attività fisica.

Quando l'alimentazione non riesce a coprire i fabbisogni di specifici nutrienti, si rende necessario il ricorso a supplementazioni con alimenti funzionali o integratori. Ad esempio, gli adolescenti che non si cibano di pesce potrebbero avere bisogno di integratori di acidi grassi polinsaturi omega-3, chi non assume abbastanza frutta e verdura potrebbe necessitare di integratori di vitamine e sali minerali, chi non assume latte e derivati potrebbe giovare dell'impiego di integratori di calcio e vitamina D, mentre chi non mangia carne potrebbe avere bisogno di integrazioni di ferro (Zangara A. et al., 2014).

In generale, è consigliabile educare i bambini ad un'alimentazione varia e corretta ispirata allo stile mediterraneo prima della pubertà, così da avere la necessità di utilizzare supplementazioni solo in casi particolari.

Poiché il comportamento alimentare si sviluppa a partire dalla prima infanzia, l'educazione ad una sana alimentazione al fine di prevenire o correggere forme di malnutrizione andrebbe iniziata il più precocemente possibile e con il coinvolgimento di tutti i soggetti coinvolti nella crescita del bambino. Numerosi lavori hanno dimostrato infatti quanto sia decisiva, per l'ottenimento di risultati positivi e duraturi, la collaborazione sinergica da parte di tutti i soggetti coinvolti nella vita del bambino (Lytle, 1994; Hoelscher et al., 2013). Il ruolo fondamentale spetta in primo luogo alla famiglia, poi alla scuola, alle istituzioni e ai mass-media, che devono farsi responsabilmente portatori di principi sani, proteggendo i bambini e gli adolescenti dalle suggestioni delle mode e della pubblicità e avendo sempre ben chiaro il concetto secondo cui l'educazione, in qualsiasi ambito, si basa innanzitutto sull'esempio.

1.2 La malnutrizione nei bambini e negli adolescenti

Un'alimentazione inadeguata a soddisfare le esigenze caloriche e nutrizionali dell'individuo a cui è destinata comporta uno stato di malnutrizione con conseguenze cliniche variabili.

Alcuni dei comportamenti alimentari che sono all'origine della malnutrizione nei bambini e negli adolescenti e le conseguenze a cui possono condurre sono riportate nella Tabella 1.

La malnutrizione può essere per difetto e per eccesso di nutrienti a seconda della causa che ne determina l'istaurarsi.

La prima è determinata da carenze di nutrienti (iponutrizione) che possono essere sintomatiche o occulte.

Le carenze di nutrienti sintomatiche, comuni nei paesi sottosviluppati e molto rare in quelli più ricchi ed evoluti, si palesano con manifestazioni cliniche evidenti quali:

- magrezza, a causa di un bilancio energetico negativo;
- rachitismo, osteoporosi e osteomalacia, a causa di carenze di calcio e vitamina D;
- anemia, a causa di carenze di ferro, acido folico, vitamina B12;
- emorragie, a causa di carenze di vitamina K o vitamina C;
- stipsi, a causa di apporto insufficiente di fibre e di acqua;
- stato confusionale, a causa di carenza di vitamina B1 e di folati.

Le carenze occulte sono caratterizzate da assenza di sintomi evidenti o da una presenza di sintomi molto blanda, scarsamente visibile. Esse sono presenti essenzialmente nei paesi più ricchi e riguardano alcune categorie sociali e soggetti che si potrebbero definire a rischio come: anziani, adolescenti, gravide e nutrici, convalescenti, soggetti con malattie dell'apparato digerente, persone sole, depresse o con gravi difficoltà economiche.

Tra i soggetti a rischio di carenze nutrizionali sono presenti anche gli adolescenti perché il periodo compreso tra la pubertà e l'età adulta rappresenta una fase di metamorfosi psico-fisica molto delicata in cui cresce il fabbisogno di proteine, ferro, calcio, vitamine A, C e D e non sempre l'alimentazione è adeguata. Gli adolescenti più a rischio sono i soggetti di genere femminile che possono andare incontro soprattutto a carenze di ferro e di calcio a causa del sopraggiungere delle mestruazioni e a diete squilibrate.

La malnutrizione per eccesso di nutrienti (ipernutrizione) è determinata da un apporto di calorie e nutrienti che eccede il fabbisogno energetico e nutrizionale del soggetto.

Un introito calorico eccessivo comporta come conseguenza l'istaurarsi di un eccesso ponderale che può andare dal semplice sovrappeso all'obesità grave, l'eccesso di lipidi potrebbe portare ad ipercolesterolemia LDL, l'assunzione di troppi glicidi all'ipertrigliceridemia, di troppi protidi alla calcolosi di acido urico e all'acidosi metabolica, di troppo sale all'ipertensione, di troppo alcol danni al fegato e al pancreas.

Gli strumenti per combattere la malnutrizione sono essenzialmente:

- l'educazione alimentare;
- l'identificazione precoce dei soggetti a rischio;
- l'implementazione di azioni correttive relativamente ai fattori di rischio di malnutrizione;
- la somministrazione di integratori lì dove non è possibile o sufficiente intervenire con gli altri strumenti (Zangara A., 2014).

Tra le forme di malnutrizione, in età evolutiva, desta oggi particolare preoccupazione la malnutrizione per eccesso a cui è dedicato il paragrafo seguente.

1.2.1 Malnutrizione per eccesso in età evolutiva

La malnutrizione per eccesso si verifica quando l'apporto di calorie e di nutrienti per mezzo degli alimenti è superiore alle esigenze dell'organismo. Una ipernutrizione in età evolutiva può avere conseguenze sfavorevoli sull'accrescimento e favorire la comparsa o l'aggravarsi di molte patologie,

come l'obesità, il diabete di tipo II, l'ipertensione arteriosa, l'aterosclerosi ed alcune neoplasie (Zangara et al., 2014; Haslam et al., 2005).

L'obesità è una condizione patologica caratterizzata da un eccessivo accumulo di massa adiposa che può avere effetti negativi sulla salute e una riduzione dell'aspettativa di vita (WHO, 2000; Flegal et al., 2005)

L'obesità secondaria rappresenta un sintomo di altre patologie: malattie endocrine, come la sindrome di Cushing e l'ipotiroidismo, malattie genetiche, come la sindrome di Prader-Willi e la sindrome di Down, e disfunzioni e neoplasie dell'ipotalamo.

L'obesità essenziale, o primitiva, è una patologia cronica ad eziologia multifattoriale. Nell'eziopatogenesi della malattia, infatti, sono coinvolti fattori genetici, fisiologici, metabolici, comportamentali e psicosociali che interagiscono e possono associarsi variamente tra loro.

La predisposizione genetica riveste importanza soprattutto nei casi di obesità grave, stimandosi che l'80% circa dei bambini con entrambi i genitori obesi abbia alte probabilità di diventare un adulto obeso (Verdich et al., 2004).

Un ruolo fondamentale nell'eziologia è comunque rivestito da uno stile di vita caratterizzato da una ipernutrizione abituale, con squilibri nutrizionali, scarsa attività fisica ed elevata sedentarietà (Bovet et al., 2007; Smith et al., 2014; Montanary-Domingues et al., 2017).

L'attività fisica svolta dai bambini/adolescenti dovrebbe comportare un dispendio energetico tale da essere in equilibrio con l'introito calorico per non provocare l'istaurarsi di un eccesso ponderale. Purtroppo attualmente si osserva una riduzione dell'attività fisica svolta, con il concomitante incremento del livello di sedentarietà. Con il progresso tecnologico, i bambini trascorrono sempre più tempo in attività statiche, preferendole spesso, per

diverse ragioni, ai tradizionali giochi di movimento che consentirebbero un maggiore dispendio energetico.

Il tempo trascorso davanti a uno schermo (screen time), che può essere il televisore, l'i-pad, il personal computer o lo smartphone, risulta positivamente correlato con la tendenza all'accumulo di massa adiposa e all'incremento ponderale (Campbell et al., 2006). Il tempo trascorso davanti alla televisione, in particolare, risulta associato positivamente all'obesità, oltre che a disturbi del sonno, ad ansia e a forme depressive (Hale & Guan, 2015; Domingues-Montanari, 2017). Tra l'altro sembrerebbe che i bambini sovente abbiano l'abitudine di consumare qualche alimento durante la visione dei loro programmi preferiti e che scelgano per lo più cibi insalubri, come snack ipercalorici, frittura, dolci e bevande zuccherate. Mangiare mentre si guarda la televisione è un'abitudine purtroppo associata a una dieta di scarsa qualità caratterizzata da un consumo frequente di alimenti ad alto contenuto di grassi e zuccheri e da uno scarso consumo di frutta e verdura (Avery et al., 2017).

Sovrappeso e obesità in bambini e adolescenti rappresentano un importante problema di salute pubblica, non solo perché sono importanti fattori di rischio per lo sviluppo nel lungo periodo di malattie cronico-degenerative, quali diabete di tipo 2 e aterosclerosi (Anita et al., 2013; Reinehr, 2013) ma anche perché l'eccesso ponderale in età evolutiva è correlato con diverse complicanze che minano anche nel breve periodo lo stato di salute del soggetto (Valerio et al., 2014).

In particolare, le condizioni di sovrappeso e obesità sono di frequente associate nei bambini e negli adolescenti alle complicanze di seguito descritte.

- Problematiche psico-sociali: i bambini obesi, che presentano spesso una crescita più rapida (età ossea avanzata) rispetto ai loro coetanei, possono avere difficoltà ad accettare il loro aspetto fisico, essere vittime di

fenomeni di emarginazione e bullismo, sviluppare scarsa autostima e disagi psicologici che possono sfociare in disturbi del comportamento alimentare (Hesketh et al., 2004; Cornette et al., 2008).

- Iperlipidemie: nei bambini e adolescenti obesi si osserva un aumento della trigliceridemia e dei livelli circolanti di colesterolo LDL associato ad una riduzione del colesterolo HDL. Una dieta con basso apporto di acidi grassi saturi e di acidi grassi trans, ricca di alimenti di origine vegetale, associata allo svolgimento regolare di attività fisica, con conseguente riduzione del peso corporeo, presenta effetti benefici su questi fattori di rischio cardiovascolare.
- Ridotta tolleranza al glucosio e diabete mellito di tipo II: anche in età evolutiva l'eccesso di grasso corporeo si accompagna a resistenza insulinica ed iperinsulinemie. Il tessuto adiposo, infatti, è in grado di secernere una serie di sostanze (leptina, TNF- α , acidi grassi liberi, resistina, adiponectina), che concorrono allo sviluppo di una ridotta sensibilità dei tessuti bersaglio all'azione dell'insulina.
- Steatosi epatica: accumulo intracellulare di trigliceridi a livello del tessuto epatico. Il fegato ha un ruolo essenziale nel metabolismo dei lipidi e l'eccesso di acidi grassi comporta la loro lipoperossidazione che può innescare un processo infiammatorio cronico che termina con l'evoluzione cirrotica e la compromissione dell'organo. La steatosi è una condizione patologica generalmente reversibile se si interviene per tempo con un regime dietetico equilibrato (Dietz, 1998).
- Sindrome metabolica: è una condizione patologica definita nei bambini secondo i criteri dell'IDF (Zimmet et al., 2007). Essa è determinata dalla presenza concomitante di almeno tre dei seguenti fattori di rischio cardiovascolare: circonferenza vita superiore al 90° percentile, ipertensione (>130/85) ipocolesterolemia HDL (<40 mg/dl), glicemia a

digiuno alta (>100 mg/dl), ipertrigliceridemia (>150 mg/dl). Tale condizione predispone il soggetto ad un elevato rischio per diabete mellito tipo II e malattie cardiovascolari su base aterosclerotica. L'incidenza in età evolutiva aumenta proporzionalmente al grado di obesità (Weiss et al., 2004).

- Problemi respiratori: l'eccessivo aumento di peso è spesso correlato a problemi respiratori quali asma, sindrome obesità-ipoventilazione o sindrome di Pickwick e apnee notturne che comportano una più o meno marcata riduzione del flusso d'aria che può arrivare anche alla completa cessazione (Poulain et al., 2006; Egan et al., 2013).
- Complicanze ortopediche: sono dovute all'eccessivo carico meccanico che ossa e articolazioni sopportano per l'elevato peso del soggetto obeso. Comunemente si riscontrano nei bambini con un eccesso ponderale: piedi piatti, valgismo degli arti inferiori, dolori articolari, riduzione della mobilità e un aumentato rischio di distorsioni e fratture (Dietz, 1998).

Gli aspetti appena descritti fanno ben comprendere l'importanza di porre un'attenzione prioritaria nei confronti del monitoraggio della popolazione in età evolutiva al fine di intervenire con azioni preventive e correttive il più precocemente possibile. Tale osservazione si rivela ancora più veritiera se si prendono in considerazione gli aspetti epidemiologici dell'eccesso ponderale in età evolutiva discussi nel paragrafo successivo.

1.3 Eccesso ponderale: dati epidemiologici e sorveglianza nutrizionale

L'obesità, essendo la principale causa di morte prevenibile in tutto il mondo, rappresenta uno dei più gravi problemi di salute pubblica del XXI secolo (Barness et al., 2007).

Prima del XX secolo, l'eccesso ponderale era una condizione piuttosto rara, poi il fenomeno ha raggiunto porzioni tali che 20 anni fa l'obesità è stata riconosciuta dall'Organizzazione mondiale della sanità come un'epidemia globale, “globesity”(Caballero, 2007).

Nel 2014, più di 1,9 miliardi di adulti erano in sovrappeso, di questi oltre 600 milioni erano obesi, ovvero il 13% della popolazione mondiale, l'11% degli uomini e il 15% delle donne. Gli individui adulti in sovrappeso nello stesso anno erano il 39% della popolazione globale, il 38% degli uomini e 40% delle donne. La prevalenza mondiale di obesità è più che raddoppiata tra il 1980 e il 2014. Per quanto riguarda l'età evolutiva, si stima che nel 2014 41 milioni di bambini di età inferiore ai 5 anni erano in sovrappeso o obesi (WHO, 2017).

Negli ultimi 3 decenni, la prevalenza di obesità nei bambini in età prescolare è più che raddoppiata ed è più che triplicata nei bambini delle scuole elementari negli Stati Uniti, dove il 33,2% di bambini e adolescenti tra i 6 e i 19 anni risultano sovrappeso o obesi e dove la diminuzione della forma fisica generale contribuisce allo sviluppo di complicanze correlate all'obesità durante l'infanzia e influenza il rischio di malattie croniche future (Odgen et al., 2012; Lobstein et al., 2015).

Dai dati epidemiologici, si può osservare che, mentre fino alla fine del XX secolo l'obesità era ritenuta un problema riguardante solo i paesi più ricchi, a partire dal XXI secolo il fenomeno ha cominciato ad interessare

anche i paesi in via di sviluppo, dove attualmente si registrano gli incrementi maggiori.

In Africa, ad esempio, il numero di bambini sovrappeso o obesi è quasi raddoppiato in quattordici anni, passando da 5,4 milioni nel 1990 a 10,6 milioni del 2014 (WHO, 2017).

Appurata la presenza del problema dell'eccesso ponderale in tutti i paesi del globo, ad esclusiva eccezione di alcune regioni dell'Africa sub-sahariana e dell'Asia, si può senz'altro supporre che le condizioni di sovrappeso e di obesità lentamente sostituiranno sempre più i tradizionali problemi di salute pubblica come la malnutrizione per difetto e le malattie infettive (Loscalzo et al., 2015).

Oltre alle conseguenze negative sulla salute, ampiamente illustrate nel paragrafo precedente, l'obesità comporta un notevole aggravio di costi per la spesa sanitaria nazionale, oltre che per i singoli soggetti che ne sono affetti.

Diverse ricerche hanno quantizzato i costi dell'obesità e dimostrato che i programmi di prevenzione dell'obesità hanno un costo ridotto rispetto alla spesa sanitaria necessaria per il trattamento di tutte le patologie correlate all'obesità (Finkelstein et al., 2003; Finkelstein et al., 2009).

Per tali ragioni, sforzi ed energie di tutti i soggetti istituzionali che si occupano di sanità pubblica sono oggi orientati verso l'individuazione e alla correzione di tutti i fattori potenzialmente responsabili della crescita del fenomeno. E' fondamentale l'attuazione di politiche "a monte" che vadano ad influenzare le condizioni sociali ed economiche della società, di politiche "di mezzo" che mirino ad incidere direttamente sui comportamenti della popolazione, e di politiche "a valle" che agiscano con servizi sanitari ed interventi clinici sui soggetti obesi (Sacks et al., 2009). Infine, gli interventi messi in atto, per essere efficaci, dovranno dare particolare rilievo ai fattori

socio-economici dei diversi contesti a cui sono destinati, visto il peso che tali variabili hanno sull'incidenza del fenomeno (Broyles et al, 2015).

Le categorie sociali più colpite dall'obesità sono quelle che hanno scarso accesso all'educazione alimentare, a corrette informazioni su stili di vita e salute, vivono in zone che non si prestano ad attività di svago all'aria aperta e spesso si cibano con prodotti economici, di bassa qualità nutrizionale ed elevata densità energetica (ISS, OKkio alla salute, 2014).

Nell'ottica di una strategia di approccio globale che tenga conto della complessità e di tutte le peculiarità del problema, un ruolo di primaria importanza spetta alla sorveglianza nutrizionale.

Essa è, secondo la definizione fornita dall'Organizzazione mondiale della sanità, “un sistema integrato di attività mirate alla raccolta sistematica e continuativa di dati e alla loro rapida analisi con la finalità di “documentare la presenza e la distribuzione in una popolazione di stati morbosi associati o mediati dalla dieta, allo scopo di stabilirne le cause, di individuarne le tendenze nel tempo, nello spazio e negli strati sociali, di predirne le modifiche, di mettere a fuoco le priorità e di consentire un preciso orientamento delle misure correttive e preventive” (WHO, 1976).

Il concetto di sorveglianza, applicato in passato alla mera notifica delle malattie, è stato ampliato alla nutrizione a partire dal 1974. Inizialmente essa fu concepita nell'ottica delle problematiche dei paesi in via di sviluppo e quindi diretta soprattutto al controllo delle forme primarie di malnutrizione da carenza. In un tempo relativamente recente, la sorveglianza nutrizionale è stata rivolta anche alla prevenzione delle manifestazioni patologiche derivanti da eccessi e squilibri alimentari.

La sorveglianza nutrizionale rappresenta uno strumento fondamentale per il controllo e la prevenzione delle patologie correlabili a fattori nutrizionali con il conseguente miglioramento dello stato di salute degli individui, inteso

non come semplice assenza della malattia ma nella sua accezione più completa di benessere totale, fisico, mentale e sociale (WHO, 1948). Un altro obiettivo di non trascurabile importanza della sorveglianza nutrizionale è il risparmio della spesa sanitaria da parte del servizio nazionale.

Per raggiungere tali obiettivi, la sorveglianza si avvale degli strumenti forniti dall'epidemiologia per descrivere ed analizzare i rapporti tra patologie e fattori eziologici nella popolazione.

Innanzitutto è necessario identificare i cosiddetti fattori di rischio nutrizionali, variabili in grado di incidere in senso negativo sulla salute, antecedenti alla comparsa della malattia e sempre associati ad essa. I fattori di rischio nutrizionali consistono in apporti scorretti o inadeguati, non in linea con i fabbisogni e le linee guida per una sana alimentazione.

La combinazione e l'analisi dei fattori di rischio e dei valori limite ad essi assegnati genera quattro tipologie di indicatori: di rischio dietetico, di rischio non dietetico, di stato pre-clinico e di esito.

Gli indicatori di rischio dietetico derivano dall'analisi dei consumi e delle abitudini alimentari della popolazione e consentono di individuare quei gruppi della popolazione che presentano comportamenti a rischio. Gli indicatori di rischio non dietetico descrivono lo stile di vita che influenza le condizioni di salute correlate a loro volta a fattori nutrizionali (es. fumo, scarsa attività fisica ecc.). Gli indicatori di rischio pre-clinico consistono in parametri di natura antropometrica e biochimica e rappresentano gli effetti primari dei fattori di rischio dietetico sullo stato di nutrizione della popolazione, (ad es. colesterolo totale >200 mg/dl, BMI >25 kg/m², pressione diastolica >90 e sistolica >140 mm Hg). Gli indicatori di esito sono rappresentati dai dati di mortalità, prevalenza e incidenza delle malattie correlate alla nutrizione (cardiopatie ischemiche, ictus cerebrale, tumori, cirrosi epatica, diabete, obesità, carie, osteoporosi ecc...).

La programmazione e la messa in atto di un sistema di sorveglianza nutrizionale prevede un iter operativo che va dalla costituzione di un nucleo operativo (con competenze in campo nutrizionale, costituito da medici, nutrizionisti, operatori sanitari ecc...) e la definizione degli obiettivi fino alla raccolta, analisi, elaborazione e diffusione dei dati e alla conclusiva valutazione critica di tutto l'intervento.

La progettazione e l'attuazione di opportuni piani di sorveglianza nutrizionale destinati all'infanzia e all'adolescenza sono fondamentali perché l'età evolutiva rappresenta un periodo cruciale per lo sviluppo psico-fisico dell'essere umano.

I bambini e gli adolescenti sono estremamente sensibili all'adozione di stili di vita non corretti che influenzano negativamente lo stato di salute e pertanto rappresentano una categoria sociale particolarmente a rischio e su cui è necessario agire il più precocemente possibile.

Attualmente i programmi di sorveglianza nutrizionale che hanno come target l'età evolutiva sono diversi. In Europa è in corso l' Health Behaviour in School-aged Children (HBSC) che è uno studio multicentrico internazionale svolto in collaborazione con l'Ufficio Regionale dell'Organizzazione Mondiale della Sanità per l'Europa. Promosso nel 1982 da Inghilterra, Finlandia e Norvegia, oggi conta 43 paesi partecipanti, tra cui l'Italia entrata a far parte di questo studio nel 2000. La raccolta dei dati si svolge ogni quattro anni sulla base di un protocollo multidisciplinare a cui partecipano ricercatori provenienti da ognuno degli stati membri. L'ultima indagine è stata effettuata su un campione rappresentativo nazionale di 77.113 ragazzi. L'obiettivo principale è quello di raccogliere informazioni su salute e benessere degli adolescenti di 11, 13 e 15 anni e di utilizzare i risultati per orientare le pratiche di promozione di salute e le politiche di prevenzione rivolte ai giovani sia a livello nazionale che internazionale.

In Italia è in corso OKkio alla salute, un sistema di sorveglianza nutrizionale nato nel 2007, collegato al programma europeo di prevenzione “Guadagnare salute”, a sua volta parte di “Childhood Obesity Surveillance Initiative” (COSI) promosso dall’Organizzazione Mondiale della Sanità.

Promosso e finanziato dal Ministero della Salute, coordinato dal Centro Nazionale di Epidemiologia, Sorveglianza e Promozione della Salute dell’Istituto Superiore di Sanità e condotto in collaborazione con tutte le regioni italiane e il Ministero dell’Istruzione, dell’Università e della Ricerca, OKkio alla salute è un sistema di sorveglianza sul sovrappeso, l’obesità e i fattori di rischio correlati in bambini delle scuole primarie, quindi di un’età compresa tra i 6 e i 10 anni. L’obiettivo principale è descrivere la variabilità geografica all’interno del paese e l’evoluzione nel tempo dello stato ponderale, delle abitudini alimentari e dei livelli di attività fisica, al fine di orientare la realizzazione di iniziative che mirino al miglioramento delle condizioni di vita e di salute dei bambini delle scuole primarie.

Sono state effettuate indagini nel 2008, 2010, 2012, 2014 e 2016 e ciascuna di esse ha interessato 40.000 bambini e genitori di 2.000 scuole. La raccolta dati avviene mediante la misurazione di dati antropometrici e la somministrazione di questionari ai bambini, ai genitori e ai presidi delle scuole.

Nelle Figure 1 e 2 sono illustrati i risultati dell’indagine del 2014, essendo i dati raccolti nel 2016 ancora in fase di elaborazione. La maggior parte delle regioni del Sud mostrano una prevalenza di bambini con eccesso ponderale maggiore rispetto alla media nazionale (Figura 1). I bambini in sovrappeso sono il 20,9% e i bambini obesi sono il 9,8%, compresi i bambini con obesità severa che da soli rappresentano il 2,2% del totale. Le femmine in sovrappeso e obese sono rispettivamente il 21,2% e il 9,4%, mentre i maschi sono il 20,7% e il 10,3%.(Figura 2).

La regione italiana con la più alta prevalenza di bambini con eccesso ponderale è la Campania, dove si riscontrano il 47,8% di bambini con eccesso ponderale, di cui il 28,6% sovrappeso e il 19,2% obeso (Figura 2).

Da un confronto dei risultati delle indagini condotte dal 2008 al 2014, si osserva una lieve calo della prevalenza dell'eccesso ponderale, essendo passati, nell'arco di 6 anni, dal 23,2% al 20,9% di sovrappeso e dal 12% al 9,8% di obesità (Figura 3). Il dato confermerebbe per l'Italia il raggiungimento di una sorta di plateau della curva che descrive l'andamento della prevalenza dell'eccesso ponderale nel tempo, così come osservato in altri paesi, oppure, come ci si auspicherebbe, il principio di un vero e proprio calo del fenomeno lento ma costante.

1.4 La composizione corporea in età evolutiva

La composizione corporea varia in modo molto marcato durante l'età evolutiva, dal neonato fino al giovane adulto, interessando questo cambiamento tutti i compartimenti corporei così come di seguito verrà brevemente discusso.

1.4.1 Variazioni della massa magra e del contenuto di acqua

La massa magra alipidica (FFM), includendo tutti i tessuti dell'organismo che non sono tessuto adiposo, comprende i lipidi essenziali, come quelli presenti nella membrana cellulare, e i lipidi muscolari intermiocitari e intramiocitari. La FFM, cui si fa riferimento in questa tesi, comprende tutte le molecole non lipidiche dell'organismo, comprese quelle che compongono acqua e proteine.

Nell'individuo adulto di riferimento la FFM rappresenta circa l'85% del peso corporeo ed è costituita, per il 45% circa, da muscoli, per il 15 % circa, da scheletro e, per il 15% circa, dagli organi viscerali.

Nel neonato la massa corporea è costituita da circa l'89% di FFM (Fomon et al, 1982). In termini assoluti, durante la crescita dell'organismo, la FFM aumenta parallelamente al peso corporeo.

Nel primo anno di vita il peso corporeo aumenta progressivamente triplicando il valore iniziale. Mediamente, in questa prima fase dell'accrescimento, l'incremento della FFM nei maschi è di 14,57 g/die e nelle femmine è di circa 12,54 g/die.

Dopo il primo anno si osserva un incremento della FFM che si mantiene più o meno costante intorno a valori di circa 5,5 g/die nei maschi e 5 g/die circa nelle femmine fino agli 8-9 anni di età (Fomon et al. 1982).

Durante il secondo decennio di vita, e in particolare con la pubertà, si riscontrano notevoli differenze nello sviluppo della FFM tra i due generi. Dai dieci ai venti anni di età, infatti, la FFM aumenta in misura molto maggiore nei maschi. In particolare, nei soggetti di genere maschile si osserva un incremento della FFM pari in media a 33 kg, mentre nelle femmine si ha un aumento medio di appena 16 kg. Inoltre, la FFM, in particolare la massa muscolare e le ossa, continua a crescere nei maschi fino ai 20 anni di età, quando raggiunge i livelli dell'adulto, mentre nei soggetti di genere femminile l'incremento della FFM si ferma a circa 18 anni di età (Roche et al, 1996).

Per quanto riguarda la massa muscolare, nel periodo adolescenziale la massa muscolare raggiunge il 54% del peso corporeo totale nei maschi di diciassette anni ed il 45% nelle femmine di tredici anni (Ulijaszek et al. 1998).

Nei neonati il muscolo scheletrico costituisce il 25% della massa corporea (Ulijaszek et al. 1998) mentre è pari al 40% nell'adulto di

referimento. Durante l'accrescimento la composizione della FFM subisce importanti variazioni che sembra consistano principalmente in mutamenti delle proporzioni tra proteine, acqua e minerali ossei. Infatti, Wells et al. (2014) ha rilevato che il valore di densità della FFM nei bambini corrisponde a 1.0864 kg/L, significativamente inferiore al valore di densità della FFM degli adulti che equivale ad 1,1 kg/L. Durante la pubertà si verifica, quindi, un incremento della densità della FFM fino al raggiungimento di un valore della densità della FFM negli adolescenti che è comunque inferiore rispetto a quello degli adulti. Negli adolescenti la FFM contiene relativamente più acqua e meno proteine e minerali rispetto all'adulto di riferimento (Kyle et al. 2015).

Rispetto alla FFM, un neonato a termine presenta in media il 14,4% di proteine, percentuale che sale a circa il 18% entro la fine del primo anno di vita (Lanham et al. 2011).

Nel primo decennio di vita si osserva un incremento della percentuale di proteine simile nei due generi, assestandosi intorno al 18% circa (Fomon et al. 1982). Nell'età adulta essa arriva al 21% del peso corporeo (Lanham et al. 2011).

L'acqua totale corporea, (TBW, Total Body Water) è sostanzialmente la componente principale della FFM. Essa, nell'uomo di riferimento, rappresenta il 70-72% della FFM, di cui il 60% circa è acqua intracellulare (ICW, Intra Cellular Water) e il restante 40% è extracellulare (ECW, Extra Cellular Water) (Bedogni et al. 1996).

La TBW nel neonato aumenta in termini assoluti ma si riduce progressivamente come percentuale di FFM. In termini percentuali, il decremento della TBW rispetto alla FFM, è costante fino all'età adulta. Essa passa dall'80,6% della FFM alla nascita al 75,1% all'età di 10 anni nei maschi e al 76,9% nelle femmine (Kyle et al. 2015). In seguito essa continua a calare fino a raggiungere nell'individuo adulto un valore pari al 72-73% della FFM.

Questa diminuzione relativa del contenuto di acqua coincide con l'incremento della densità media della FFM che si osserva con l'aumentare dell'età.

Anche il rapporto tra ECW e ICW varia con la crescita pur restando le loro percentuali in relazione alla FFM molto simili nei due generi dalla nascita fino all'età di un anno. In dettaglio, l'ECW alla nascita rappresenta il 49,3% della FFM mentre l'ICW costituisce il 31,3% in entrambi i generi. Alla fine del primo anno di vita le percentuali sono rispettivamente l'ECW il 42,5% e l'ICW il 36,5% della FFM nei maschi, mentre nelle femmine i valori sono rispettivamente del 41,6% e del 37,1% della FFM.

Dopo il primo anno di vita e fino ai 10 anni di età, le percentuali di ECW e di ICW subiscono significative variazioni in entrambi i generi. In particolare, a 10 anni di età, il genere femminile presenta una ECW del 34,9% e una ICW del 42% rispetto alla FFM, mentre nel genere maschile il valore di ECW è pari al 31% della FFM e l'ICW al 44,1% (Fomon et al. 1982).

Per quanto riguarda il minerale osseo, si osserva un incremento con l'età che si conclude con il raggiungimento del picco massimo ad un'età compresa tra i 20 e i 30 anni (Mora & Gilsanz, 2003). La densità dei minerali ossei, costituiti principalmente da calcio (Ca) e fosforo (P), cresce a sua volta fino al raggiungimento della maturità biologica. Un neonato a termine presenta in media 9,6 g/kg di Ca e 5,6 g/kg di P. Essi aumentano entrambi considerevolmente nel corso del primo anno di età, fino a raggiungere valori di 14,5 g/kg per il Ca e 9 g/kg per il P. L'incremento proseguirà con l'aumentare dell'età fino a raggiungere i valori di riferimento relativi all'uomo adulto che sono di 22,4 g/kg per il Ca e di 12 g/kg per il P (Lanham et al. 2011).

1.4.2 Variazioni nel grasso corporeo

La massa grassa (FM) è costituita dall'insieme di tutte le molecole lipidiche dell'organismo presenti nel tessuto adiposo e negli altri tessuti. La percentuale media di FM è indicativamente pari al 17% in media nell'uomo di riferimento con differenze tra i due generi. La FM è in fatti pari al 15% circa nell'uomo adulto e al 23% circa nella donna adulta (Heyward & Stolarczyk, 1996).

La FM, come la FFM, durante l'età evolutiva, subisce delle variazioni. I neonati a termine hanno una quantità di grasso corporeo pari a circa il 15% del loro peso, che aumenta sino a raggiungere, alla fine del primo anno di vita, una percentuale pari al 20-25%.

Nello specifico, l'incremento della percentuale di grasso corporeo nei maschi segue il seguente trend: dal 13,7% del peso corporeo iniziale passa al 22,5% ad un anno di vita e poi si riduce fino al 13,7% all'età di 10 anni.

Nelle femmine la percentuale di grasso corporeo, dal 14,9% del peso corporeo alla nascita, si incrementa fino a raggiungere il 23,7% alla fine del primo anno e poi cala fino al 19,4% a 10 anni di età (Fomon et al. 1982).

Se si studia nel dettaglio l'andamento della FM durante il primo decennio di età, si osserva che, in seguito al rapido incremento della FM nel primo anno di vita, si ha un calo della FM fino ai 4,5-5,5 anni, dopodiché la FM riprende nuovamente ad aumentare. L'età in cui si raggiunge il valore minimo di FM, prima del nuovo incremento, prende il nome di adiposity rebound (AR) ed è definito in letteratura come un aumento di adiposità precoce che si verifica prima dei 5 anni (Peneau et al. 2016).

Dopo i 10 anni, la FM continua ad aumentare, mostrando un tasso di crescita, nel corso dell'adolescenza, pari a 1,4 kg del peso corporeo all'anno nelle femmine e 0,6 kg del peso corporeo all'anno nei maschi (Malina et al.

2004). Tra i 9 e i 20 anni, la percentuale di FM aumenta dal 20% al 26% nelle femmine e diminuisce nei maschi passando dal 17% al 13% dopo i 13 anni, età in cui inizia a crescere più rapidamente la percentuale di FFM.

Ma le differenze della FM tra i generi non riguardano solo la quantità, per cui le femmine durante la pubertà sperimentano un incremento maggiore rispetto ai maschi, ma anche la distribuzione anatomica del tessuto adiposo

I maschi adolescenti, infatti, mostrano una percentuale di grasso distribuito al livello addominale significativamente più alta rispetto alle ragazze, come mostrato dal rapporto vita-fianchi più basso e dal maggiore spessore della plica sottoscapolare-tricipitale.

Il rapporto circonferenza vita-fianchi (WHR) misura la predominanza del deposito di grasso nella regione addominale rispetto alla regione dei glutei e dei fianchi ed è anche indicativo del deposito di grasso addominale in eccesso. Negli adulti, il WHR è stato correlato a una serie di malattie metaboliche ed è un forte predittore di mortalità, ma le implicazioni di un alto WHR nei bambini non sono chiare. Esso è significativamente influenzato da età e sesso. I maschi hanno generalmente misure più elevate di WHR rispetto alle femmine. Il WHR diminuisce con l'età da circa 1,1 nella prima infanzia a circa 0,8 nei bambini in età puberale. Dalla pubertà in poi, il WHR si avvicina ai valori riportati per gli adulti. In generale, il tessuto adiposo sottocutaneo è distribuito perifericamente nella maggior parte dei bambini di entrambi i generi fino alla pubertà. La tendenza ad una distribuzione del grasso più centrale diminuisce nelle ragazze verso i 13-14 anni di età e continua nei ragazzi.

1.4.3 Variazioni dell'indice di massa corporea

Durante il primo anno di vita si osserva un rapido aumento dell'indice di massa corporea (BMI) che successivamente diminuisce e raggiunge un minimo intorno ai 6 anni di età. Al raggiungimento di tale età, si verifica un ulteriore rapido incremento che procede fino alla fine del periodo di crescita. Misurazioni longitudinali hanno dimostrato che fin dalla prima infanzia, nella maggior parte dei bambini, la curva di crescita non attraversa i percentili verso l'alto o verso il basso, ma tende a seguire un determinato percentile e ciò indica che la crescita è auto-regolata. Così, indipendentemente dal fatto che un bambino è grande o piccolo in un dato punto nel tempo, l'attraversamento del centile fornisce un'indicazione di crescita anomala. Proprio su questa base i grafici di crescita sono utilizzati sia nel monitoraggio clinico, per individuare le singole anomalie nell'andamento della crescita, che nella ricerca in sanità pubblica per monitorare la variabilità delle curve di crescita nei bambini (Wells, 2014).

1.5 Valutazione della composizione corporea in età evolutiva

L'obiettivo principale della valutazione della composizione corporea è il monitoraggio dello stato nutrizionale. Il rapido cambiamento in statura, peso, FFM e FM durante la crescita richiede una combinazione adeguata di metodi per i bambini.

Le metodiche usate sono tutte indirette e permettono di ottenere dati che possono essere organizzati secondo dei modelli bicompartimentali o multicompartimentali.

Il modello bicompartimentale (2-C) prevede che il peso corporeo sia il risultato della somma di FFM e FM ed include diverse metodiche quali antropometria, densitometria e impedenza bioelettrica.

Il modello multicompartimentale considera la FFM come la risultante della sommatoria della TBW (73% di FFM), delle proteine (20% di FFM), dei minerali (6% di FFM) e del glicogeno (1% di FFM). Tale modello fornisce indicazioni più complesse, differenziando tra fluidi intracellulari ed extracellulari o tra minerale osseo ed altri tessuti ascrivibili alla massa magra.

Il gold standard per l'analisi della composizione corporea è l'analisi di cadaveri. Non essendo nessuna tecnica in vivo in grado di soddisfare più elevati criteri di accuratezza, solo i modelli multi-compartimentali sono considerati sufficientemente accurati da poter essere utilizzati come metodi di riferimento per la valutazione della composizione corporea (Wells et al. 1999). Poiché essendo il modello a 4 compartimenti il gold standard per la composizione corporea in età evolutiva, esso è raramente disponibile a causa della necessità di attrezzature specializzate. Per tale ragione, nella pratica comune, per la determinazione della composizione corporea nei bambini si utilizzano prevalentemente tecniche che si basano sul modello a due compartimenti.

Le diverse metodiche per la valutazione della composizione corporea utilizzabili in età evolutiva sono descritte nei paragrafi seguenti.

1.5.1 Antropometria

L'antropometria è letteralmente la misurazione del corpo umano nella sua totalità (statura, peso) e nelle sue componenti (testa, tronco, arti). Rappresenta una metodica di facile applicabilità, economica e non invasiva, usata per determinare le dimensioni, le proporzioni e la composizione del corpo umano.

L'antropometria include lunghezza (per i neonati), statura (per i bambini in piedi), peso corporeo, circonferenze di regioni del corpo, larghezze scheletriche e spessore delle pliche cutanee. L'antropometria, riflettendo le dimensioni corporee lo stato generale di salute e di benessere, può essere impiegata per stimare la funzionalità, lo stato di salute e la sopravvivenza degli individui.

La valutazione clinica dello stato nutrizionale dei bambini fa prevalentemente affidamento su misure di antropometria da quasi due secoli. Nel 1835 lo statistico belga Quételet, partendo da dati relativi a peso e statura in età evolutiva, usò per la prima volta il concetto di "distribuzione normale" per descrivere il modello di crescita umana (Quételet, 1835; Bogin, 1988). Poi, nel 1870, Bowditch raccolse i dati antropometrici di più di 24.000 scolari di Boston, dimostrando la differenza di crescita tra i diversi generi e gruppi socioeconomici (Bogin, 1988; Wells, 2014) e più tardi Tanner costruì per la prima volta delle tabelle di riferimento che tuttora vengono tenute in considerazione (Tanner, 1952; Tanner & Whitehouse, 1976; Wells, 2014).

Oggi dalle misurazioni antropometriche è possibile stimare la composizione corporea mediante l'impiego di equazioni predittive validate per popolazioni simili a quelle a cui appartengono i soggetti di interesse, commettendo errori relativamente piccoli se applicate ai gruppi, piuttosto grandi se riferite ai singoli individui. Le equazioni predittive sono basate su studi di comparazione con metodi per la valutazione della composizione

corporea più accurati, come la densitometria, l'idrometria e l'assorbimetria a raggi x. Equazioni di predizione convalidate in età pediatrica sono disponibili per la stima di FM, FFM e per la densità del corpo in base allo spessore di alcune pliche cutanee, prevalentemente la plica tricipitale e la plica sottoscapolare.

In età evolutiva alcune misurazioni antropometriche possono essere utili in ambito clinico ai fini della valutazione del rischio di sviluppo di diverse patologie, oltre che per fornire informazioni circa la distribuzione del grasso corporeo. Una di queste misurazioni è rappresentata dal rapporto tra la circonferenza della vita e la statura (CV/H), essendo ormai accertata la relazione esistente tra distribuzione del grasso corporeo e complicanze metaboliche. In particolare, un valore superiore a 0,5 indipendentemente da sesso, età ed etnia è associato ad un aumento dei fattori di rischio per le patologie cardiovascolari, indipendentemente dal BMI (SIO, ADI, 2012/2013).

Il valore del rapporto circonferenza vita/fianchi (WHR), invece, misura il deposito di grasso nella regione addominale rispetto alla regione dei glutei ed è significativamente influenzato da età e sesso. I maschi hanno generalmente misure più elevate di WHR rispetto alle femmine. Esso diminuisce con l'età andando da circa 1,1 nella prima infanzia a circa 0,8 nei bambini in età puberale, dopodiché il valore si avvicina a quelli riportati per gli adulti. In generale, il tessuto adiposo sottocutaneo è distribuito perifericamente nella maggior parte dei bambini fino alla pubertà. Il cambiamento verso una distribuzione del grasso più centrale diminuisce nelle ragazze verso i 13-14 anni di età e continua nei ragazzi. Negli adulti, il WHR è stato correlato a una serie di malattie cardio-metaboliche e rappresenta un forte predittore di mortalità mentre in età evolutiva le implicazioni di un alto WHR sono ancora oggetto di studi chiarificatori.

1.5.2 Bioimpedenziometria

La bioimpedenziometria (Body Impedance Analysis, B.I.A.) rappresenta una delle tecniche più utili ai fini della valutazione della composizione corporea in età evolutiva perché di semplice applicazione, di rapida esecuzione, non invasiva, dal costo contenuto e necessitante di una partecipazione minima da parte del soggetto.

Il funzionamento della metodica si basa sul principio fisico che l'acqua è un buon conduttore di corrente elettrica, mentre il grasso è un isolante quasi perfetto. Pertanto, essendo la FFM costituita prevalentemente da acqua, determinando il contenuto di acqua totale dell'organismo (TBW), la tecnica consente di risalire alla quantità di FFM e quindi a quella di FM.

Più precisamente, la BIA misura la resistenza che il corpo oppone al passaggio di una corrente elettrica alternata a bassa intensità e ad alta frequenza, rilevando nel dettaglio l'impedenza (Z) o resistenza (R) e la reattanza (X_c). La Z rappresenta la capacità di tutte le strutture biologiche di opporsi al passaggio della corrente elettrica mentre la X_c , denominata anche resistenza capacitativa, è la forza che si oppone al passaggio di una corrente elettrica a causa di una capacità, cioè di un condensatore.

Da tali valori è possibile risalire al contenuto di acqua totale dell'organismo (TBW), da cui viene stimata la FFM, utilizzando l'ipotesi che il 72% della FFM negli adulti è costituita da acqua. Tuttavia il valore di riferimento del 72% per il contenuto d'acqua della FFM negli adulti comporta una sovrastima della FFM e una sottostima della FM in bambini che hanno un valore di acqua del 75-76% per la FFM. Inoltre le tecniche BIA sono sviluppate e validate mediante il confronto con la DXA e/o la idrodensitometria ma tali metodi di riferimento usano algoritmi basati su

proporzioni per adulti e quindi sono certamente meno accurati se riferiti ai bambini (Kyle et al. 2015).

Per tale ragione, interessante è lo studio dell'impiego diretto di parametri BIA tal quali, così come sono rilevati dall'impedenziometro oppure in seguito a semplici aggiustamenti matematici, come la Z, l'angolo di fase (AF), l'indice bioimpedenziometrico (indice BI) e i rapporti multifrequenza (IR), ai fini della valutazione dello stato nutrizionale in età evolutiva, come descritto nel paragrafo successivo.

Attualmente le principali tecniche impedenziometriche impiegate per la valutazione della composizione corporea sono la BIA monofrequenza (BIA Single Frequency, BIA SF), la BIA multifrequenza (BIA Multi Frequency, BIA MF) e la BIA a spettroscopia (BIA Spectroscopic, BIA SP).

Il metodo più ampiamente utilizzato e studiato nei bambini è la BIA SF, che usa una corrente alternata con una frequenza pari a 50 kHz, poiché l'offerta commerciale di dispositivi BIA SP e BIA MF fino a non molto tempo fa era molto scarsa.

Sinteticamente si può affermare che la BIA SF consente di valutare FFM e TBW ma non è in grado di distinguere tra i compartimenti intracellulari ed extracellulari della TBW, mentre la BIA SF e la BIA MF offrono la possibilità di differenziare tra acqua intracellulare ed acqua extracellulare (Kyle et al. 2015).

La BIA MF consente di misurare la Z a diverse frequenze; in genere nell'intervallo tra 1 e 5 kHz fino a qualche centinaio di kHz. A basse frequenze (5 e 10 kHz), la corrente elettrica percorre in prevalenza i fluidi extracellulari (fornendo una stima dell'ECW) mentre a frequenze più elevate (50,100 e 250 kHz) supera le membrane cellulari penetrando i fluidi intracellulari (fornendo una stima dell'ICW). Ad alte frequenze, le membrane risultano essere permeabili alla corrente, consentendo così la rilevazione della

TBW. Esiste una forte correlazione tra ECW/TBW e il rapporto IR fra R a basse frequenze ed R ad alte frequenze (Cha et al., 1995).

La BIA SP rappresenta l'estremizzazione del concetto della BIA MF giacchè determina l'impedenza ad un numero elevato di frequenze. Successivamente poi si procede al calcolo di una teorica Z a frequenza 0 e di una Z a frequenza infinito, espressione rispettivamente dell'ICW e dell'ECW (Yamada, 2013).

1.5.2.1 Variabili BIA tal quali

Attualmente si va consolidando sempre più l'interesse della ricerca in ambito nutrizionale verso lo studio dell'impiego diretto delle variabili BIA tal quali ai fini della valutazione della composizione corporea in età evolutiva e dell'analisi qualitativa della FFM.

Parametri derivanti dalle variabili BIA tal quali in seguito a semplici aggiustamenti matematici che al momento destano particolare interesse sono l'angolo di fase (AF), l'indice bioimpedenziometrico (indice BI) e i rapporti multifrequenza (IR).

Il parametro più studiato in età evolutiva tra le variabili BIA tal quali attualmente è l'AF (De Palo et al., 2000; Buffa et al., 2002; Bosy-Westphal et al., 2006; Barufaldi et al., 2011; Mathias-Genovez et al., 2016) che è dato dal rapporto trigonometrico tra Z ed X_c e che rappresenta l'angolo di sfasamento che subisce la corrente alternata quando attraversa le membrane cellulari. Generalmente determinato alla frequenza di 50 kHz, l'AF è espressione sia della percentuale di massa cellulare corporea attiva (Body Mass Cell, BCM) che dello stato d'idratazione, rappresentando quindi un valido indicatore specifico dello stato di nutrizione (Norman et al. 2012). L'AF è correlato positivamente con la X_c e negativamente con la Z (Baumgartner et al., 1988) e può essere considerato un indicatore dell'integrità delle membrane cellulari e

della distribuzione dell'acqua tra i compartimenti intra ed extracellulari (Selberg et al., 2002; Schwenk et al., 2000). L'AF ha valori più alti nel genere maschile e diminuisce con l'aumentare dell'età, a causa di una riduzione della reattanza, ovvero della perdita di massa muscolare, e di un aumento della resistenza dovuta alla diminuzione di acqua corporea e al rispettivo aumento della massa grassa. Inoltre, l'AF è direttamente correlato al BMI per valori $<30 \text{ kg/m}^2$, mentre si riduce nei soggetti gravemente obesi, probabilmente a causa dell'espansione della ECW e della riduzione percentuale dell'ICW. (Kyle et al., 2015).

L'indice BI è dato dal rapporto tra il quadrato della statura e la Z a frequenza pari o superiori a 50 kHz ed è considerato un indicatore proxy dell'acqua corporea totale (TBW) e della massa magra alipidica (FFM). Attualmente è utilizzato prevalentemente all'interno di equazioni predittive di TBW e FFM proposte in età evolutiva (Kyle et al., 2015) e non sono presenti in letteratura informazioni circa le sue variazioni durante la crescita come variabile tal quale.

L'IR definisce i rapporti fra Z a elevate frequenze e Z a frequenze più basse e si ipotizza che possa essere un marcatore proxy di volume extracellulare e/o di BCM (Earthman, 2016) e che quindi possa fornire indicazioni circa la BCM presente all'interno della FFM. Si tratta di un'ipotesi di lavoro al momento suffragata da una serie di indicazioni in età adulta e nell'anziano che è ben poco esplorata in età evolutiva. Al momento in letteratura esiste solo il lavoro di Avila et al. (2015) che fa riferimento alla BIA a spettroscopia e che indica un progressivo declino del rapporto R_{∞}/R_0 (estrapolazioni all'estremo di frequenze alte e di frequenze basse) nell'intervallo d'età 1-18 anni.

1.5.2.2 BIA: equazioni predittive

I dati raccolti tramite BIA possono essere elaborati per mezzo di specifiche equazioni predittive che permettono di avere una stima dei diversi compartimenti corporei. Nel corso degli anni, sono state sviluppate numerose equazioni predittive per la stima della FFM, della BCM e della TBW. Il principale limite risiede nel fatto che tali equazioni sono specifiche per popolazione e possono essere utili solo per quegli individui che presentano caratteristiche analoghe alla popolazione di riferimento. Conseguentemente a ciò, le equazioni predittive non possono essere d'uso generalizzato e la loro validità, così come l'accuratezza della BIA, sono attendibili solo se il soggetto da esaminare rientra nei canoni specifici della popolazione standard sulla quale l'equazione stessa è stata sviluppata. Il processo di validazione delle equazioni BIA è più difficile nei bambini rispetto agli adulti, per via dei cambiamenti del livello di idratazione che hanno luogo nel corso dell'accrescimento. Molti dispositivi hanno equazioni BIA sviluppate dai produttori stessi che, non essendo inserite nel libretto di istruzioni del dispositivo, rimangono inedite e riservate e nulla si sa quindi sulle modalità di stima di FFM o FM a partire dai dati BIA tal quali. Tale aspetto è particolarmente critico nell'approccio clinico poiché le equazioni predittive, essendo popolazione specifiche, possono portare a commettere errori più o meno significativi. Molte delle equazioni, per esempio, non applicano i fattori di idratazione per età e genere che sono specifici nel caso dei bambini se si intende effettuare una stima di FFM, di TBW o di FM (Kyle et al. 2015).

Da uno studio comparativo effettuato su diverse equazioni predittive, confrontandole con i dati di FM, percentuale di FM ed FFM che derivavano dall'analisi DXA (Dual-energy X Absorptiometry, DXA), è emerso che una equazione predittiva per la BIA in grado di offrire una stima abbastanza accurata della percentuale di FM in età evolutiva, sovrappeso e obesi, è quella

di Schaefer et al., (1994), l'unica equazione che tra le variabili valutate prende in considerazione l'età (Cleary et al., 2008).

Nella Tabella 2 sono indicate le equazioni predittive utilizzate per la valutazione dell'acqua corporea totale in età evolutiva mediante analisi impedenziometrica in lavori pubblicati dal 1990 al 2015 (Kyle et al. 2015).

1.5.3 Metodiche per la valutazione della composizione corporea in età evolutiva alternative all'antropometria e alla BIA

Le metodiche di valutazione della composizione corporea che si basano su modelli bicompartimentali, attraverso tecniche diverse, generano dati che si basano su vari assunti teorici e che portano a delle stime finali grazie a formule empiriche influenzate dalla natura del campione della popolazione impiegato per calibrarle. Il risultato di questa eterogeneità metodologica è che i dati della composizione corporea ottenuti da diverse tecniche non sono intercambiabili. Una possibile soluzione a questo problema è quella di ottenere dati di riferimento utilizzando metodi basati su un modello multicompartimentale, come la DXA, in grado di prendere in considerazione anche le variazioni nella composizione della FFM che hanno luogo durante l'accrescimento (Wells 2014).

La DXA è una tecnica che consente di misurare la densità minerale ossea, di quantificare i tessuti molli e quindi di calcolare FM ed FFM utilizzando algoritmi specifici. La DXA è di rapida esecuzione e può essere utilizzata anche in bambini piccoli dato l'impiego di minime dosi di radiazioni ma i dati devono essere interpretati con cautela in quanto la tecnica non è ancora sufficientemente accurata per essere impiegata come metodo di riferimento nei bambini (Lohman et al. 2013).

Un'altra tecnica diagnostica è la densitometria che permette la misurazione della densità totale del corpo (massa corporea / volume del corpo). Tuttavia, poiché la densità di grasso è relativamente costante mentre quella della FFM varia in base alla sua composizione, questo approccio risulta inadeguato in età evolutiva a causa della variazione della densità della FFM durante l'accrescimento. Un'alternativa a questa tecnica è la pletismografia a spostamento di aria, che è una tecnica che misura il volume dell'aria spostata dal soggetto. Essa ha una maggiore precisione rispetto all'idrodensitometria nei bambini ed è impiegabile anche nei bambini di età inferiore ai 4 anni.

La diluizione del deuterio è una metodica che può essere utilizzata per misurare la TBW e quindi stimare la FFM e la FM. Questa tecnica prevede la somministrazione di una dose di acqua marcata con deuterio e, raggiunto l'equilibrio, la misurazione della TBW, utilizzando campioni di saliva, urina o sangue. I valori di riferimento pubblicati sono relativamente coerenti con i valori misurati nei neonati e nei bambini sani, tuttavia negli stati di malattia la variabilità di idratazione della FFM può essere anche elevata a causa di fenomeni di iperidratazione o disidratazione. La diluizione isotopica è semplice da effettuare e richiede una cooperazione minima da parte del soggetto, per tali ragioni si è rivelata particolarmente idonea ad essere impiegata nei neonati e nei bambini.

La risonanza magnetica (RM) è un esame diagnostico che permette di visualizzare l'interno del corpo, permettendo di ottenere immagini dettagliate e fornendo in questo modo informazioni di primaria importanza in numerosi campi della medicina. Il principio di funzionamento della RM è estremamente complesso e si fonda sulle conoscenze che sono alla base della meccanica quantistica.

Considerando l'assenza di effetti collaterali, l'unico limite alla sua diffusione è rappresentato dall'elevato costo dell'apparecchiatura e della sua

manutenzione. Questo è il motivo per cui la metodica viene raramente impiegata per valutare la composizione corporea. Utilizzata per tale scopo, comunque, questa avanzata tecnica di imaging consente di stimare il volume del tessuto adiposo totale, del tessuto adiposo regionale, del pannicolo adiposo sottocutaneo e del tessuto adiposo viscerale. Il vantaggio principale della RM rispetto ad altre tecniche è proprio la capacità di stimare la composizione corporea regionale e il tessuto viscerale in modo preciso (Wells et al. 1999).

1.6 Efficienza fisica in età evolutiva

L'efficienza fisica può essere definita come lo stato di benessere fisico dell'individuo, tale da soddisfare in modo adeguato le molteplici esigenze funzionali della vita quotidiana, raggiungibile attraverso uno stile di vita sano, con una dieta equilibrata e adeguati livelli di attività fisica (Ortega et al., 2008).

L'efficienza fisica può essere considerata un indicatore dello stato di salute sia in età adulta che in età evolutiva. In una review sistematica molto recente (Cattuzzo et al., 2016) vengono illustrati i risultati dei lavori scientifici, pubblicati a partire dal 1990, riguardanti la valutazione delle relazioni tra abilità motorie e salute nei bambini e negli adolescenti. In particolare, erano prese in esame le seguenti variabili: peso corporeo, efficienza cardiorespiratoria, efficienza muscolo-scheletrica e flessibilità. Una forte evidenza scientifica è stata riscontrata a sostegno di un'associazione inversa tra abilità motorie e peso corporeo e un'associazione positiva tra abilità motorie ed efficienza cardio-respiratoria ed efficienza muscolo-scheletrico, mentre è risultata incerta l'associazione tra abilità motorie e flessibilità. In conclusione, la review ha confermato che lo sviluppo delle abilità motorie durante l'infanzia può, sia direttamente che indirettamente,

favorire lo stato di benessere generale a breve e a lungo termine nei bambini e negli adolescenti.

Numerosi studi condotti su bambini e adolescenti hanno dimostrato la forte associazione tra efficienza fisica e un ridotto rischio di malattie cardiovascolari, metaboliche e cronico-degenerative (Ortega, 2008; Smith et al. 2014).

Più alto è il livello di efficienza fisica, maggiore è la capacità dell'organismo di soddisfare a pieno le proprie esigenze funzionali e maggiore è la probabilità di conservare uno stato di salute nel lungo periodo. Andrade et al., (2014) hanno osservato che lo sviluppo di malattie cronico degenerative nelle prime decadi di vita è associato a una scarsa efficienza fisica e a bassi livelli di attività fisica, oltre che ad una dieta inadeguata.

L'efficienza cardio-respiratoria e la forza muscolare rappresentano un potente indicatore di salute nei bambini e negli adolescenti e riducono considerevolmente il rischio di eccesso ponderale durante la pubertà (Ortega et al.2011).

Le diverse tipologie di efficienza sin qui citate (efficienza cardio-respiratoria, forza muscolare, flessibilità) sono solo alcune delle componenti che contribuiscono a definire l'efficienza fisica nel suo complesso, come descritto nel paragrafo successivo.

1.6.1 Le componenti dell'efficienza fisica.

L'efficienza fisica rappresenta la risultante di differenti componenti del benessere fisico dell'organismo. Una prima classificazione è quella proposta, oltre che da numerosi studiosi, dall'Alpha test battery, che è una batteria di test messa a punto da 14 gruppi di ricerca europei per valutare l'efficienza fisica nei bambini e negli adolescenti. Essa vede l'efficienza fisica come la sommatoria delle seguenti tre variabili principali: l'efficienza cardio-respiratoria, l'efficienza muscolo-scheletrica e l'efficienza motoria (The Alpha Test, 2009).

L'efficienza cardio-respiratoria è una delle componenti più importanti dell'efficienza fisica dell'individuo. Essa è un indicatore dello stato fisiologico della persona e riflette la capacità del sistema cardiovascolare e respiratorio di fornire ossigeno durante l'attività fisica sostenuta a lungo termine e quindi la capacità di eseguire un intenso esercizio fisico prolungato (Ruiz et al., 2006). I miglioramenti nella fitness cardiorespiratoria hanno dimostrato di ridurre il rischio di diventare sovrappeso e obesi durante la pubertà (Ortega et al. 2011).

La componente muscolo-scheletrica riflette un sano ed equilibrato funzionamento del sistema muscolo-scheletrico. Ciò richiede che un particolare muscolo o gruppo di muscoli siano in grado di sopportare le contrazioni ripetute nel tempo (forza muscolare) o mantenere la massima contrazione volontaria per un periodo prolungato (resistenza muscolare), o eseguire una contrazione dinamica in un breve periodo di tempo (potenza esplosiva o forza muscolare). Un aspetto importante della componente muscolo-scheletrica dell'efficienza fisica è rappresentata dalla flessibilità che è la capacità di eseguire movimenti e gesti con la più ampia escursione articolare possibile (Ruiz et al., 2009).

La componente motoria dell'efficienza fisica comprende la velocità di movimento, l'agilità e la coordinazione. Gli individui con un buon livello di

efficienza motoria sono più propensi ad impegnarsi in un'attività fisica regolare ed ottengono più facilmente buoni risultati sportivi. Gli aspetti tipici della componente motoria, ad esempio la velocità di movimento, sono in parte ereditari e in parte strettamente correlati a stili di vita sani, in particolare nei bambini (Ruiz et al., 2009).

Bianco et al. (2015), in una review riguardante le batterie di test proposte dalla letteratura per la valutazione dell'efficienza fisica in età evolutiva descrive le seguenti componenti dell'efficienza fisica correlate alla salute: efficienza cardio-respiratoria, forza muscolare, resistenza muscolare, flessibilità ed abilità motorie.

La forza muscolare rappresenta un'importante componente dell'efficienza fisica correlata alla salute (McCarthy et al, 2014) e può essere definita come la massima forza espressa da un muscolo o da un gruppo muscolare per vincere una resistenza (Harman et al., 1993). A questa componente dell'efficienza fisica e alle sue variazioni nel corso della crescita in età evolutiva è dedicato il paragrafo successivo.

La resistenza muscolare è quella capacità fisica che permette di sostenere un determinato sforzo il più a lungo possibile. Una buona resistenza muscolare favorisce una migliore postura, un minor numero di problemi alla schiena, e una maggiore tolleranza alla fatica muscolare rispetto alle persone che mancano di resistenza muscolare (Barbieri et al., 2013)

I risultati dello studio “Alimentación y Valoración del Estado Nutricional de los Adolescentes” (AVENA) mostrano un'associazione positiva tra risultati di test di resistenza muscolare e quantità di lipoproteine ad alta densità (HDL) nel sangue e grasso corporeo, espresso come somma di pliche e come percentuale stimata con l'equazione di Slaughter (Ortega et al., 2005)

La flessibilità può essere definita come la capacità di una o più articolazioni, di muoversi liberamente per tutto il proprio range di mobilità

senza avvertire dolore. Essa è influenzata da diverse variabili quali età, genere e livello di attività fisica, per cui le donne sono più flessibili degli uomini e i giovani lo sono di più delle persone anziane (Alter M., 2004).

La flessibilità secondo diversi studi contribuisce a mantenere il benessere fisico generale, ad acquisire una postura corretta, a migliorare le performances sportive, a favorire un migliore coordinamento dei movimenti e a promuovere il rilassamento fisico e mentale, a ridurre il rischio di lesioni ed infortuni muscolo-tendinei-articolari anche se su quest'ultimo aspetto la letteratura non è sempre concorde (Witvrouw et al., 2004).

Le abilità motorie sono rappresentate da velocità, agilità, potenza, equilibrio, coordinazione e tempi di reazione e sono tutte saldamente collegate tra loro (Caspersen et al., 1985). A parte coloro che presentano specifici problemi di salute, in genere gli adolescenti combinano velocità e agilità all'interno delle loro attività abituali ed attività sportive comuni come il calcio, il basket e il nuoto (Seifert et al., 2014).

1.6.1.1 Variazioni della forza muscolare in età evolutiva

La forza muscolare può essere definita come la capacità di un muscolo o di uno o più gruppi di muscoli di generare una forza. Lo sviluppo della forza muscolare durante l'accrescimento dipende da una combinazione di fattori neuro-muscolari e biomeccanici. La forza tende ad incrementarsi in maniera relativamente lineare nel primo decennio di vita, con piccole differenze tra i generi. Precisamente si osserva un graduale aumento lineare della forza muscolare dai 3 anni d'età fino alla pubertà per il genere maschile e fino a circa 15 anni per il genere femminile. Durante la pubertà emergono differenze tra i generi, con gli adolescenti che mostrano un'accelerazione della velocità di crescita della forza, mentre nelle adolescenti la forza continua a svilupparsi ad una velocità simile a quella della prepubertà (Bergeron et al. 2016). Questi

cambiamenti sono strettamente associati con i cambiamenti nella dimensione del corpo e con la fondamentale attitudine al movimento. Trascorso questo tempo, i maschi mostrano una ulteriore drastica accelerazione della forza muscolare fino all'età di 17 e oltre, mentre le femmine mostrano un plateau pronunciato o addirittura una regressione in tarda adolescenza e oltre (Smith et al. 2014). Anche Ervin et al. (2013), ha riportato che i maschi adolescenti avevano più forza delle adolescenti, ma non vi erano differenze significative tra i due generi nei bambini più piccoli. Queste differenze di genere e di età sono probabilmente il risultato di cambiamenti fisici che si verificano durante la pubertà. Le variazioni sessuali influenzano l'espressione della forza nei generi per circa il 50% (Bergeron et al. 2016). I ricercatori hanno attribuito questi cambiamenti di resistenza alle variazioni di altezza e peso, nonché ad un aumento della massa muscolare durante questa fase di crescita (Ervin et al. 2013).

1.7 Valutazione dell'efficienza fisica in età evolutiva

La valutazione dell'efficienza fisica in età evolutiva può essere effettuata mediante l'attuazione di specifici test. Di seguito vengono riportati i principali test proposti per la valutazione delle seguenti componenti dell'efficienza fisica correlate con la salute: efficienza cardio-respiratoria, resistenza muscolare, flessibilità, abilità motorie e forza muscolare (Bianco et al., 2007).

I test per la valutazione dell'efficienza cardio-respiratoria maggiormente impiegati sono: 1 mile run/walk test, 20 m shuttle run e 6 minutes walking test (Geiger et al., 2011; Ulrich et al., 2013).

Il primo test, necessitando di una distanza di 1 miglio, non è semplice da inserire in un programma da svolgere in una scuola. Per tale motivo sono stati proposti anche test del cammino su ½ miglio e su ¼ di miglio.

Per la valutazione della resistenza muscolare, in letteratura sono indicati i seguenti test: il sit-up in 60 secondi, il sit-up in 30 secondi (Bovet et al., 2007), il sit-up ad oltranza e il curl up test che però, essendo funzione del peso, ha mostrato una bassa precisione in una popolazione di bambini e adolescenti (Soares et al, 2011).

La flessibilità viene generalmente valutata mediante il test sit-and-reach E' presente nella batteria EUROFIT e, nella sua versione modificata back-saver-sit-and-reach nella batteria FITNESSGRAM, entrambi semplici da eseguire all'interno delle palestre delle scuole nell'ambito delle ore di scienze motorie.

I test maggiormente impiegati per valutare le abilità motorie ovvero velocità, agilità e coordinamento sono: lo shuttle run test 4x10 m (Secchi et al., 2014; Ruiz et al., 2011) e lo shuttle run test 10x5 m (Karppanen, 2012).

Ai fini della valutazione della forza muscolare, che potremmo definire anche efficienza muscolo-scheletrica, un test comunemente impiegato è la forza di presa della mano (Handgrip Strenght, HGS). L'HGS si è dimostrato essere una misura valida per valutare lo stato di idoneità muscolo-scheletrica di bambini e adolescenti (Castro-Pinero et al. 2010). Essa viene comunemente valutata per mezzo di un dinamometro specifico ed è direttamente influenzata dai sistemi muscolare, scheletrico e neurale, pertanto risulta utile come predittore della massa muscolare del braccio, della forza muscolare globale e della funzionalità del sistema neurale e scheletrico. L' HGS, così come la forza muscolare in generale, mostra grandi variazioni da individuo a individuo, che sono in buona parte collegabili a una serie di fattori ben noti a cominciare da età, genere e peso corporeo (Silverman, 2015). Alcuni autori hanno dimostrato che l'HGS aumenta progressivamente nei bambini in età scolare (Cohen et al., 2010) e che ciò avviene in entrambi i sessi anche se la forza di presa del genere maschile è maggiore rispetto a quella del genere

femminile (Omar, 2015). In conclusione i fattori che più influenzano l'HGS in bambini ed adolescenti sono: età (aumenta con l'età), genere (risulta maggiore nei maschi), statura (aumenta proporzionalmente alla statura), peso, emilato dominante (per il quale si registrano valori maggiori di forza muscolare rispetto al lato non dominante), composizione corporea e antropometria del braccio e della mano (De Souza et al., 2014).

Per quanto riguarda i valori di riferimento, Ploegmakers et al. (2013) hanno voluto concentrarsi sulla creazione di standard per l'HGS nei bambini con età compresa tra 4 e 14 anni, in relazione al genere, al peso, alla statura e all'emilato dominante e non dominante (Figura 4). Alcuni dei ricercatori che hanno studiato l'HGS nei bambini non hanno valutato la statura e il peso come fattori influenti (Bear-Lehman et al., 2002; Butterfield et al., 2009) ma, per evitare problemi di interpretazione dei dati di HGS è importante tenerli in considerazione poiché tali valori si modificano durante la crescita (Rauch et al., 2002). In particolare, nel lavoro di Hogrel et al. (2012) è stata rilevata un'importante relazione tra la statura e la forza muscolare in soggetti di 5-17 anni di età (Figura 5), oltre che una maggiore HGS per l'emilato dominante rispetto a quello non dominante.

1.7.1 Batterie di test per la valutazione dell'efficienza fisica in età evolutiva

Tra le principali batterie di test per la valutazione dell'efficienza fisica utilizzate negli Stati Uniti vi sono la batteria FITNESSGRAM e l'International Physical Fitness Test (IPFT).

La batteria FITNESSGRAM, sviluppata negli Stati Uniti nell'ambito di un programma scolastico completo che promuove la salute e l'attività fisica regolare tra i giovani, consta di 6 test: curl-up, 90° push-up, pull up modificato, back saver sit and reach, stretch della spalla, sollevamento del tronco.

L'IPFT, frutto della cooperazione tra la Sports Academy e il Consiglio supremo per la gioventù e lo sport, è destinata a ragazzi di 9-19 anni ed è stata adottata da più di 21 nazioni. La batteria misura velocità, forza, elasticità e resistenza muscolare mediante: bent arm hang, test di sprint su 50 metri, shuttle run su 10 metri, lancio indietro e corsa di 1000 m.

Nel Canada il dipartimento di Salute e Benessere ha implementato un programma di test destinato a bambini e ragazzi della scuola primaria e secondaria, il Canadian Association for Health, Physical Education and Recreation Fitness Performance Test II (CAHPER FPT II). I test previsti sono: bent arm hang, la corsa da 50 iarde, la corsa da 300 iarde, lo shuttle run, il sit up di velocità, e il salto in lungo in piedi.

In Australia la batteria Fit-4-Fun è ampiamente usata negli istituti scolastici per valutare l'efficienza fisica di bambini e ragazzi. I test proposti sono: lo shuttle run su 20 m, il sit and reach, il salto in piedi, il sit up, il tiro di basket e il push-up.

Le due batterie più utilizzate in Europa sono la batteria di test EUROFIT e la batteria di test ALPHA.

La batteria EUROFIT è stata elaborata nel 1993 dal Consiglio europeo e comprende test per la valutazione dell'efficienza fisica validi, affidabili, sicuri e di semplice esecuzione, utilizzabili all'interno di un sistema di monitoraggio della salute pubblica nei paesi dell'Unione europea. La batteria EUROFIT include: lo shuttle run su 20 m, il bent arm hang, il sit up in 30 s, il sit and reach, l'HGS, lo standing broad jump, lo shuttle run 10x5 m, il plate tapping e il flamingo balance.

La batteria di test ALPHA comprende le seguenti 4 prove: lo shuttle run su 20 m, l'HGS, lo standing broad jump, lo shuttle run 40x10 m.

La batteria HELENA comprende gli stessi test di efficienza fisica della batteria ALPHA.

La batteria di test AVENA, che è stata sviluppata in Spagna, prevede la valutazione dell'efficienza fisica negli adolescenti mediante: lo shuttle run su 20 m, l'HGS, lo standing broad jump, lo shuttle run 4x10 m e il bent arm hang.

Infine, il progetto ASSO è stato ideato con l'intento di fornire agli insegnanti e a coloro che si occupano di fitness all'interno delle scuole uno strumento in grado di monitorare l'efficienza fisica nel tempo di bambini e adolescenti, al fine di prevenire l'obesità e le patologie ad essa correlate.

La batteria proposta comprende 5 test a basso costo e di semplice esecuzione: lo shuttle su 20 m per valutare l'efficienza cardio-respiratoria, il test HGS per misurare la forza muscolare della parte superiore del corpo; il test standing broad jump, per quantizzare la forza muscolare della parte inferiore del corpo, lo shuttle 4 × 10 m per valutare la velocità, l'agilità e la coordinazione e il sit up ad esaurimento per misurare la resistenza dei muscoli addominali (Bianco et al., 2007).

1.8 Relazioni fra composizione corporea ed efficienza fisica in età evolutiva.

La composizione corporea e l'efficienza fisica rappresentano due aspetti strettamente connessi tra loro poiché interagiscono e si influenzano vicendevolmente. Diversi studi hanno dimostrato che il sesso, l'età e il peso corporeo sono tutti importanti predittori dei risultati delle prove di efficienza fisica e che l'incremento del peso corporeo di bambini e adolescenti è associato negativamente con l'esecuzione dei test che coinvolgono lo spostamento della loro massa corporea e positivamente con i risultati dei test che non richiedono il sostegno della massa corporea (Ervin et al., 2013).

Inoltre, studi hanno osservato performance sulla panca e prestazioni di pull-up inferiori per i giovani in sovrappeso e obesi rispetto ai normopeso ed un effetto opposto per l'estensione del ginocchio e per le prove di HGS (Artero et al., 2010).

Queste differenze di forza sono attribuibili ai cambiamenti di altezza, peso e quantità di massa muscolare che si hanno durante la pubertà. Nei test fisici che necessitano di propulsione o di sollevamento della massa corporea, i giovani obesi eseguono una performance peggiore rispetto ai giovani normopeso perché il grasso corporeo in eccesso è un carico extra che devono muovere in questi tipi di test fisici. Al contrario, i giovani obesi hanno una maggiore resistenza rispetto ai giovani normopeso nei test sulla forza di presa della mano. Questo può essere dovuto, almeno per alcuni di loro, dalla presenza di una maggiore quantità di massa complessiva.

Recenti studi relativi alla relazione esistente tra efficienza fisica e composizione corporea hanno dimostrato che l'efficienza muscolare è correlata negativamente ai bio-marcatori di infiammazione. Questa associazione potrebbe essere in parte spiegata considerando che un minore stato infiammatorio negli adolescenti con elevata massa muscolare potrebbe

essere dovuta alla loro minore adiposità fenotipica. È stato inoltre osservato che gli adolescenti sovrappeso e obesi possono esibire un profilo meno negativo se mantengono appropriati livelli di efficienza muscolare (Artero et al., 2010).

1.9 Esercizio ed efficienza fisica nei bambini e negli adolescenti obesi

L'esercizio fisico è raccomandato per la prevenzione e il trattamento del sovrappeso e dell'obesità nei giovani (Kelley & Kelley, 2013) poiché l'eccesso di peso è spesso causato da scarsa attività fisica giornaliera.

Il livello di attività fisica nei bambini e negli adolescenti sovrappeso e obesi è inferiore rispetto a quello dei loro coetanei normopeso con conseguenze negative sull'efficienza fisica globale e lo stato di salute (Page et al., 2005).

Un'attività fisica scarsa può incrementare le eventuali difficoltà motorie del soggetto con eccesso ponderale e sfociare in un vero e proprio stato di impaccio motorio che, a sua volta, rende difficoltosa la partecipazione alle attività fisiche innescando una sorta di circolo vizioso da cui non è semplice venire fuori.

Al fine di prevenire uno stato di carente efficienza fisica, è essenziale effettuare una corretta valutazione dell'efficienza muscolo-scheletrica, cardio-respiratoria e motoria dei soggetti con eccesso ponderale. Tali valutazioni risultano di non semplice esecuzione, tanto maggiore è il grado di sovrappeso e obesità del soggetto. È probabilmente questa la ragione per la quale, mentre sono numerosi i lavori che indagano le modalità di valutazione dell'efficienza fisica nella popolazione pediatrica generale, sono rare le review che riguardano i bambini e gli adolescenti obesi.

Tra queste, vi è quella di Thivel et al. (2016) che ha l'obiettivo di esaminare sistematicamente l'effetto dell'obesità sull'efficienza fisica muscolare nei bambini e negli adolescenti. La maggior parte degli studi esaminati valuta l'efficienza muscolare attraverso test in campo, mentre alcuni lavori effettuano misure di laboratorio basandosi sui risultati forniti da cicloergometri. Quest'ultimo approccio ha il non trascurabile vantaggio di valutare l'effettiva efficienza muscolare, mentre i risultati delle prove in campo dipendono non solo dal livello di efficienza muscolo-scheletrica ma anche da parametri quali la flessibilità, l'equilibrio e le capacità di coordinazione che afferiscono ad altre componenti dell'efficienza fisica generale.

Test basati sui salti che misurano l'efficienza muscolo-scheletrica degli arti inferiori hanno fornito negli obesi risultati peggiori rispetto ai normopeso (Dumith et al. 2010, Liao et al., 2013) mentre quasi tutte le prove di laboratorio hanno mostrato negli individui obesi una maggiore resistenza muscolare in termini assoluti (Thivel et al., 2011; Tsiros et al., 2013) Tuttavia, considerando i costi e la non facile accessibilità dei test da laboratorio, le batterie di test sul campo rappresentano un modalità di semplice esecuzione e in grado di fornire risultati soddisfacenti in questa popolazione.

La review conclude ribadendo l'importanza di agire con interventi terapeutici che prevedano il monitoraggio e l'incremento dell'efficienza fisica globale in bambini e ragazzi affetti da obesità, promuovendone il coinvolgimento in attività fisiche quotidiane che ne favoriscano l'autonomia e l'autostima, migliorando il livello di benessere generale e la qualità della vita (Thivel et al., 2016).

Gli interventi che hanno maggiori probabilità di rivelarsi vincenti sono rigorosamente strutturati e comprendono programmi educativi e di sostegno riguardanti alimentazione, stile di vita sano ed esercizio fisico.

Per quanto riguarda le tipologie di attività fisica proposte in questi interventi, quella maggiormente consigliata è generalmente l'attività aerobica. Tuttavia, in questo genere di attività, i soggetti con un forte eccesso ponderale non hanno performance di successo e questo può avere effetti psicologici negativi ed indurre all'abbandono di tali attività. Probabilmente anche per tale ragione, negli ultimi anni cominciano ad essere proposti ai bambini sovrappeso e obesi anche allenamenti di resistenza (McGuigan et al., 2009; Shranz et al., 2013).

Gli effetti positivi delle attività di resistenza sul piano fisico sono: l'incremento della forza e della resistenza muscolare, della resistenza aerobica e della densità minerale ossea, il miglioramento del profilo lipidico nel sangue e l'abbassamento della pressione sanguigna. I benefici non riguardano solo il benessere fisico ma anche quello psicologico, poiché negli allenamenti di resistenza essi possono ottenere risultati simili ai loro coetanei normopeso, se non migliori proprio grazie alla loro maggiore massa (Yu et al., 2008)

Shranz et al. (2013), indagando in una review sistematica gli effetti di allenamenti che miravano ad incrementare la resistenza in bambini e adolescenti sovrappeso e obesi, hanno osservato effetti lievi sulla composizione corporea, da moderati a grandi sulla forza muscolare, mentre sull'incremento di autostima e fiducia nelle proprie capacità sarebbero necessari ulteriori studi.

Anche Oliveira et al. (2016), osservando che spesso gli interventi attuati sui bambini/adolescenti obesi registravano elevati tassi di abbandono sostanzialmente per la carenza dell'interesse da parte dei soggetti a cui erano destinati (Crane & Temple, 2015) hanno analizzato, in una review sistematica, gli effetti degli sport di gruppo. Diversi lavori ne hanno dimostrato l'utilità, vista la varietà di attività aerobiche e di resistenza che presentano (Salvy et al., 2012).

In popolazioni adulte, sport di gruppo come il tennis e il calcio, hanno mostrato effetti benefici per la salute come una maggiore efficienza cardiorespiratoria, un migliore profilo lipidico e una linea più snella (Oja et al., 2015). Tuttavia, molto meno si sa circa i benefici di sport di gruppo sulle principali componenti della salute correlate con la forma fisica in popolazioni di bambini e adolescenti obesi.

La review di Oliveira (2016) analizza gli effetti degli sport di gruppo su composizione corporea, efficienza cardio-respiratoria, efficienza muscolare, flessibilità, ed efficienza neuromotoria in soggetti sovrappeso e obesi con meno di 18 anni di età.

I miglioramenti sono stati riscontrati relativamente alla composizione corporea, con una riduzione della percentuale di massa grassa e della circonferenza della vita, relativamente alla resistenza cardiorespiratoria, rilevata mediante la misurazione del consumo massimo di ossigeno, e all'efficienza muscolare, misurata mediante la forza di presa della mano. Nessun effetto significativo è stato riscontrato per il BMI, la percentuale di massa magra, i risultati del test sit-and-reach e dei test di agilità (Oliveira, 2016).

Pertanto in questa popolazione, gli sport di gruppo sembrano migliorare la composizione corporea, l'efficienza cardio-respiratoria e la forza di presa della mano, mentre non sembrano sortire effetti su flessibilità ed efficienza neuromotoria, similmente a quanto osservato per gli adulti e in altri programmi progettati per la perdita del peso in età evolutiva (Krustrup et al., 2010; Kelley & Kelly., 2013).

In conclusione, è di fondamentale importanza monitorare e lavorare per incrementare l'efficienza fisica nei bambini e negli adolescenti sovrappeso e obesi per i numerosi e comprovati effetti benefici dell'esercizio fisico, sia sul

piano fisico che sul piano psicologico, e per migliorare il benessere generale e la qualità della vita.

1.10 TABELLE E FIGURE

TABELLA 1

Comportamenti alimentari errati e loro principali conseguenze sulla salute (dati tratti da Zangara et al., 2014)

Errori alimentari	Principali conseguenze
Introito calorico eccedente il fabbisogno	Sovrappeso, obesità, diabete di tipo II
Introito calorico insufficiente rispetto al fabbisogno	Magrezza
Alimentazione eccessivamente ricca di lipidi	Sovrappeso, obesità, ipercolesterolemia LDL
Alimentazione eccessivamente ricca di glicidi	Sovrappeso, obesità, ipertrigliceridemia
Alimentazione eccessivamente ricca di protidi	Rischio di calcolosi di acido urico, acidosi metabolica, osteoporosi
Alimentazione eccessivamente ricca di sale	Iperensione
Alimentazione troppo povera di vegetali	Deficit di vitamin, di minerali, di fibre
Alimentazione troppo povera di pesce	Deficit di acidi grassi omega 3
Alimentazione troppo povera di carne	Deficit di proteine, ferro e vitamin B12
Alimentazione eccessivamente ricca di carne rossa	Rischio di aterosclerosi e di neoplasie
Alimentazione troppo povera di latte e di derivati del latte	Deficit di calcio
Insufficiente assunzione di acqua	Disidratazione
Eccessiva assunzione di bevande alcoliche	Dipendenza, danni epatici e pancreatici.

TABELLA 2

Equazioni predittive utilizzate per la valutazione dell'acqua corporea totale in età evolutiva mediante analisi impedenziometrica (pubblicazioni dal 1990 al 2015), classificate in base all'età dei soggetti (dati tratti dalla review di Kyle et al., 2015).

Popolazione	Fonte	N. soggetti	Metodica di riferimento	Equazione	R ²	SEE	Strumento BIA
6 gg to 10 aa	Novak, 1992	16	D2O Dilution	$0.158 + 0.662 * Ht^2/Z50$	0.911	-1.771-1.725	Holtain
3 m to 36 aa (Ispanici)	Fjeld 1990	44	18O Dilution	$0.76 + 0.18 * Ht^2/Z50 + 0.39 * Wt$	0.99	0.23	RJL-101
3 m - 66 aa (Caucasici)	Kushner, 1992	62 adults/ 113 children	D2O/18O Dilution	$-0.32 + 0.700 * Ht^2/R50$	0.995	1.67	RJL-101
			D2O/18O Dilution	$0.04 + 0.593 * Ht^2/R50 + 0.065 * Wt$	0.997	1.24	RJL-101
3-6 aa (Giapponesi)	Masuda, 2004	70	D2O Dilution	$1.628 + 0.149 * Ht^2/R50 + 0.244 * Wt + 0.460 * age + 0.501 * sex (M = 1, female = 0)$	0.96	0.440a	TP-95K
4-18 aa (Razze miste)	Horlick, 2002	1247	D2O Dilution	$0.725 + 0.475 * Ht^2/R50 + 0.140 * Wt$	0.955	8.3	RJL-101
5-9 aa	Danford, 1992	36	D2O/18O Dilution	$1.84 + 0.45 * Ht^2/R50 + 0.11 * Wt$	0.98	0.62	RJL-101

Popolazione	Fonte	N. soggetti	Metodica di riferimento	Equazione	R2	SEE	Strumento BIA
5-15 aa (Srilankesi)	Wickramasinghe, 2008 7	282	2H2O Dilution	$0.44 + 0.41 * Ht2/Z50 + 0.17 * Wt + 1.1 * sex$ (male =1; female = 0)	0.863	2.1a	Bodystat
5-17 aa	Davies, 1988	26	2H218O Dilution	$-0.50 + 0.60 Ht2/Z50$	0.97	1.69	Holtain
5-18 aa Obesi (Caucasici)	Wabitsch 1996 9	146	D2O Dilution	$0.12 + 0.35 * Ht2/R50 + 0.27 * age + 0.14 * Wt$	1.0	1.9	RJL-101
7-16 aa (Caucasici)	Gregory, 1991	34	D2O/18O Dilution	$0.79 + 0.55 * Ht2/Z50$	r = 0.98	Limits of agreement -1.9 to 1.3	Holtain
Bambini (età e provenienza non specificate)	Pencharz & Azcue 1996	101	18O Dilution, NaBr	$2.99 + 0.629 * Ht2/R50$	0.91	2.301	RJL-101
8-10 aa (Asiatici)	Liu, 2011	948	D2O Dilution	$-4.574 + 0.231 * Ht2/R + 0.066 * Ht + 0.188 * Wt + 0.128 * age + 0.500 * sex$ (M =1; F = 0) - 0.316 * Thais (Thais = 1; Other = 0)	0.88	1.3a	ImpediMed DF50
8-12 aa (Caucasici)	Wells, 1999	30	Densitometry	$2.69 + 0.601 * Ht2/Z50$	0.932	1.15	SEAC

Popolazione	Fonte	N. soggetti	Metodica di riferimento	Equazione	R2	SEE	Strumento BIA
8-12 aa Premenarca (Caucasici, Neri, altro)	Phillips, 2003	196	D2O/18O Dilution	$-5.508 + 0.42 * Ht^2/R50 + 0.209 * Wt + 0.08593 * Ht + 0.515 * \text{black race} - 0.02273 * \text{other race}$	0.95	1.0	RJL-101
Postmenarca (Caucasici, Neri, altro)	Phillips, 2003		D2O/18O Dilution	$-11.937 + 0.389 * Ht^2/R50 + 0.285 * Wt + 0.124 * Ht + 0.543 * \text{black race} + 0.393 * \text{other race}$	0.91	1.5	RJL-101
11-15 aa Maschi (Caucasici, Asiatici, Neri)	Haroun, 2010	181	D2O Dilution	$-1.822 + 0.665 * Ht^2/Z50 + 1.166 * \text{black} + 1.288 * \text{Asian}$	0.9	2.85	Tanita TBF-300 leg to leg
11-15 aa Femmine (Caucasiche, Asiatiche, Nere)	Haroun, 2010	201	D2O Dilution	$0.125 + 0.647 * Ht^2/Z50 + 2.187 * \text{black} + 1.465 * \text{Asian}$	0.85	2.36	Tanita TBF-300 leg to leg
17-66 aa (Caucasici)	Kushner & Schoeller, 1986	40	D2O Dilution	male = $8.399 + 0.396 * Ht^2/R50 + 0.143 * Wt$; female = $8.315 + 0.382 * Ht^2/R50 + 0.105 * Wt$	0.96 0.95	M 1.66 F 0.88	RJL-101
17-66 aa (Caucasici)	Kushner & Schoeller, 1986	40	D2O Dilution	$1.726 + 0.5561 * Ht^2/R50 - 0.0955 * Wt$	0.97	1.75	RJL-101
12-94 aa (Caucasici, Neri)	Sun, 2003	712	Multi-C	Males: $1.203 + 0.449 * Ht^2 / R50 + 0.176 * Wt$	0.84	3.8a	RJL-101

Popolazione	Fonte	N. soggetti	Metodica di riferimento	Equazione	R2	SEE	Strumento BIA
12-94 aa (Caucasici, neri)	Sun, 2003	1089	Multi-C	Females $3.747 + 0.450 * Ht^2 / R50 + 0.113 * Wt$	0.79	2.6a	RJL-101
22-38 m (Caucasici, Polinesiani, Asiatici)	Rush, 201218	77	DXA-Lunar	$-2.490 + 0.367 * Ht^2/R50 + 0.188 * Wt + 0.077 * Ht + 0.273 * sex$ (male = 1, female = 0)	0.89	0.5	Impedimed, BIM-4
3-19 aa (Caucasici)	Schaefer, 1994	98	TBK	$0.15 + 0.65 * Ht^2/Z50 + 0.68 * age$	0.97 5	1.98a	Holtain Ltd
4-10 aa, (Bengalesi)	Khan, 2012	200	D2O dilution	$2.34 + 0.50 * Wt - 0.52 * sex + 0.18 * age + 0.21 * Ht^2/Z50$	0.89	0.902	Tanita TBF-300MA, Ft-to-Ft
4.9-10.9 aa, (Caucasici, Moari, isole del Pacifico)	Tyrrell, 2001	82	DXA-Lunar	$-14.96 + 0.31 * Ht^2/Z50 + 0.17 * Ht + 0.11 * Wt + 0.942 * sex$ (Females = 1, males = 2)	0.97	2 SD - 2.89 to 1.38	Tanita Ft-to-Ft
4-18 aa (Razze miste)	Horlick, 2002	1247	DXA-Lunar; D2O dilution	$3.474 + 0.459 * Ht^2/R50 + 0.064 * Wt / (0.769 - 0.009 * A - 0.016 * sex)$	0.99 7	5.8	RJL-101
5-14 aa (Caucasici, Polinesiani, Asiatici)	Rush, 2003	77	D2O Dilution	$1.166 + 0.622 * Ht^2/R50 + 0.234 * Wt$	0.96	2.44	Impedimed, BIM-4
5-15 aa (Srilankesi)	Wickramasinghe, 2008	282	2H2O Dilution	$-0.22 + 0.56 * Ht^2/Z50 + 0.22 * Wt + 1.6 * sex$ (male = 1; female = 0)	0.86	2.7a	Bodystat

Popolazione	Fonte	N. soggetti	Metodica di riferimento	Equazione	R2	SEE	Strumento BIA
6-14 aa (Messicani)	Ramirez, 2012	336	D2O Dilution	- 0.320 + 0.661 * Ht2/R50 + 0.200 * Wt (FFM 6-9 y Fomon 8, recalculated by Schoeller 97; >10 y hydration factors by Lohman 98)	0.96	1.39a	Impedimed DF50
7-9 aa (Caucasici)	Deurenberg	39	Densitometry	4.83 + 0.64 * Ht2/Z50	0.92	1.07	RJL-101
7.7-13 aa (Caucasici)	De Lorenzo	35	DXA-Lunar	2.33 + 0.588 * Ht2/Z50 + 0.211 * Wt	0.92	1	RJL-101
8-11 aa (Caucasici)	Deurenberg, 1989	100	Densitometry	-12.72 + 0.456 * Ht2/Z50 + 0.292 * Wt + 0.102 * Ht	0.97 4*	2.1	RJL-101
8-11 aa (Caucasici)	Deurenberg, 1989	64	Densitometry	-0.11 + 0.43 * Ht2/Z50 + 0.354 * Wt + 0.90 *sex (M =1; F = 0)	0.89	1.31	RJL-101
8-12 aa (Caucasici)	Bedogni, 2003	52	DXA-Lunar	4.8 + 0.7 *Ht2/Z50	0.95	1.5a	Human IM BIA
7-14 aa Maschi (Caucasici)	Pietrobelli, 2003	75	DXA-Lunar	5.9913 + 0.6375 * Ht2/Z50	0.87 9		Human IM BIA
7-14 aa (Caucasiche)	Pietrobelli, 2003	75	DXA-Lunar	3.5853 + 0.7597 * Ht2/Z50	0.90 3		Human IM BIA

Popolazione	Fonte	N. soggetti	Metodica di riferimento	Equazione	R2	SEE	Strumento BIA
8-10 aa (Asiatici)	Liu, 2011	948	D2O Dilution	$-6.952 + 0.299 * Ht^2/R50 + 0.086 * Ht + 0.245 * Wt + 0.260 * age + 0.901 * sex$ (M = 1; F = 0) - 0.415 * Thais (Thais = 1; Other = 0)	0.88	1.7a	ImpediMed DF50
8-12 aa (Neri, Caucasici, altro)	Phillips, 2003	196	D2O Dilution	$-5.508 + 0.420 * Ht^2/R50 + 0.209 * Wt + 0.08593 * Ht + 0.515 * black\ race - 0.02273 * other\ race$	0.95	1.1	RJL-101
8-26 aa (Caucasici)	Suprasongsin, 1995	56	D2O Dilution	$-0.32 + 0.524 * Ht^2/R50 + 0.415 * Wt$	0.88	NA	NA
9-11 aa Caucasici	Nielsen, 2007	101	DXA-Lunar	$-5.11 + 0.54 * Ht^2/R + 0.05 * Xc + 0.06 * Ht + 0.09 * Wt + 0.97 * sex$ (male + 1; female = 0)	0.95	0.87a	RJL-103
9-14 aa	Cordain, 1988	30	Multi-C, TBK	$6.86 + 0.81 * Ht^2/R50$	0.83	4.08	RJL-101
9-14 aa Maschi (Giapponesi)	Kim, 1994	141	Densitometry	$1.66 + 0.561 * Ht^2/R50 + 0.20 * Wt$	0.97	1.59	NA
9 - 18 y Maschi (Caucasici)	Chumlea, 1988	24	Densitometry	$0.92 * Ht^2/R50 - 1.23$	0.88	4.02	RJL-101

Popolazione	Fonte	N. soggetti	Metodica di riferimento	Equazione	R2	SEE	Strumento BIA
9 - 18 aa Femmine (Caucasici)	Chumlea, 1988	24	Densitometry	$0.96 * Ht^2/R50 - 1.38$	0.84	4.19	RJL-101
10.9±1.1 aa (Neri)	Lewy, 1999	34	Dilution	$1.1 + 0.84 * Ht^2/R$	0.97	1.47	RJL-101
10-14 aa (Caucasici)	Houtkooper, 1989	94	Multi-C, Siri	$2.69 + 0.58 * Ht^2/R50 + 0.24 * Wt$	0.93	2	RJL-101
10-19 aa (Caucasici)	Houtkooper, 1992	225	Multi-C, Siri	$1.31 + 0.61 * Ht^2/R50 + 0.25 * Wt$	0.95	2.1	RJL-101
10-17 aa Obesi (Caucasici)	Lazzer, 2008	61	DXA-Lunar	$0.87 * Ht^2/Z50$	0.91	2.7a	Human IM BIA
10-12 aa Femmine 10-15 aa Maschi (Caucasici)	Deurenberg, 1990	91	Densitometry	$14.7 + 0.488 * Ht^2/Z50 + 0.221 * Wt + 0.1277 * Ht$	0.98	1.87	RJL-101
>13 aa Femmine >16 aa Maschi (Caucasici)	Deurenberg, 1990	116	Densitometry	$-6.5 + 0.258 * Ht^2/Z50 + 0.375 * Wt + 6.3 * Sex + 0.105 * Ht - 0.164 * age (M = 1, F = 0)$	0.97	2.55	RJL-101

Popolazione	Fonte	N. soggetti	Metodica di riferimento	Equazione	R2	SEE	Strumento BIA
Diverse età (Maschi e femmine) (Caucasici)	Deurenberg, 1990	246	Densitometry	$-8.5 + 0.438 * Ht^2/Z50 + 0.308 * Wt + 1.6 * S + 0.0704 * Ht$ (male = 1; female = 0)	0.99	2.39	RJL-101
14-18 aa (Neri, Caucasici, altro)	Phillips 2003	196	D2O Dilution	$-11.937 + 0.389 * Ht^2/R50 + 0.285 * Wt + 0.124 * Ht + 0.543 * \text{black race} + 0.393 * \text{other race}$	0.91	1.6	RJL-101
<15 aa (Caucasici)	Deurenberg, 1991 38	166	Densitometry	$-6.48 + 0.406 * Ht^2/Z50 + 0.36 * Wt + 0.56 * \text{Sex} + 0.058 * Ht$ (Male =1; female = 0)	0.97	1.68	RJL-101
>16 aa (Caucasici)	Deurenberg, 1991	661	Densitometry	$-12.44 + 0.340 * Ht^2/Z50 + 0.273 * Wt + 4.56 * \text{sex} + 0.1534 * Ht - 0.127 * \text{age}$ (Male =1; female = 0)	0.93	2.63	RJL-101
12-71 aa Soggetti sani (Caucasici)	Boulier, 1990	202	Densitometry	$6.37 + 0.64 * Wt + 0.40 * Ht^2/Z1 - 0.16 * \text{age} - 2.71 * \text{sex}$ (men = 1, women = 2)	0.92	2.6	IMP BO I
12-94 aa Femmine (Caucasici, neri)	Sun, 2003	944	Multi-C	Women: $-9.529 + 0.696 * Ht^2/R50 + 0.168 * Wt + 0.016 * R50$	0.83	2.9a	RJL-101
12-94 aa Caucasici, Neri	Sun, 2003	669	4-C	Men: $-10.678 + 0.652 * Ht^2/R50 + 0.262 * Wt + 0.015 * R$	0.9	3.9a	RJL-101

R2= coefficiente di determinazione; SEE: Stima dell'errore standard

Prevalenza di eccesso ponderale in età evolutiva, secondo i dati raccolti ed elaborati nell'ambito del programma di sorveglianza nutrizionale Okkio alla salute relativi all'anno 2014.

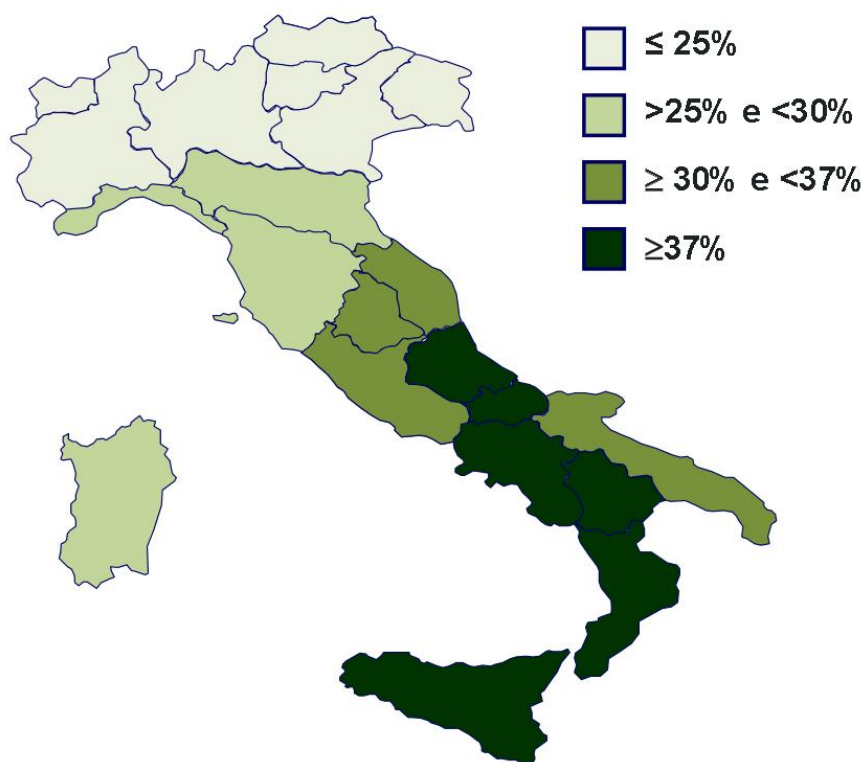


FIGURA 2

Prevalenza di sovrappeso e obesità in bambini di 8-9 anni di età nelle regioni italiane, secondo i dati raccolti ed elaborati nell'ambito del programma di sorveglianza nutrizionale Okkio alla salute relativi all'anno 2014.

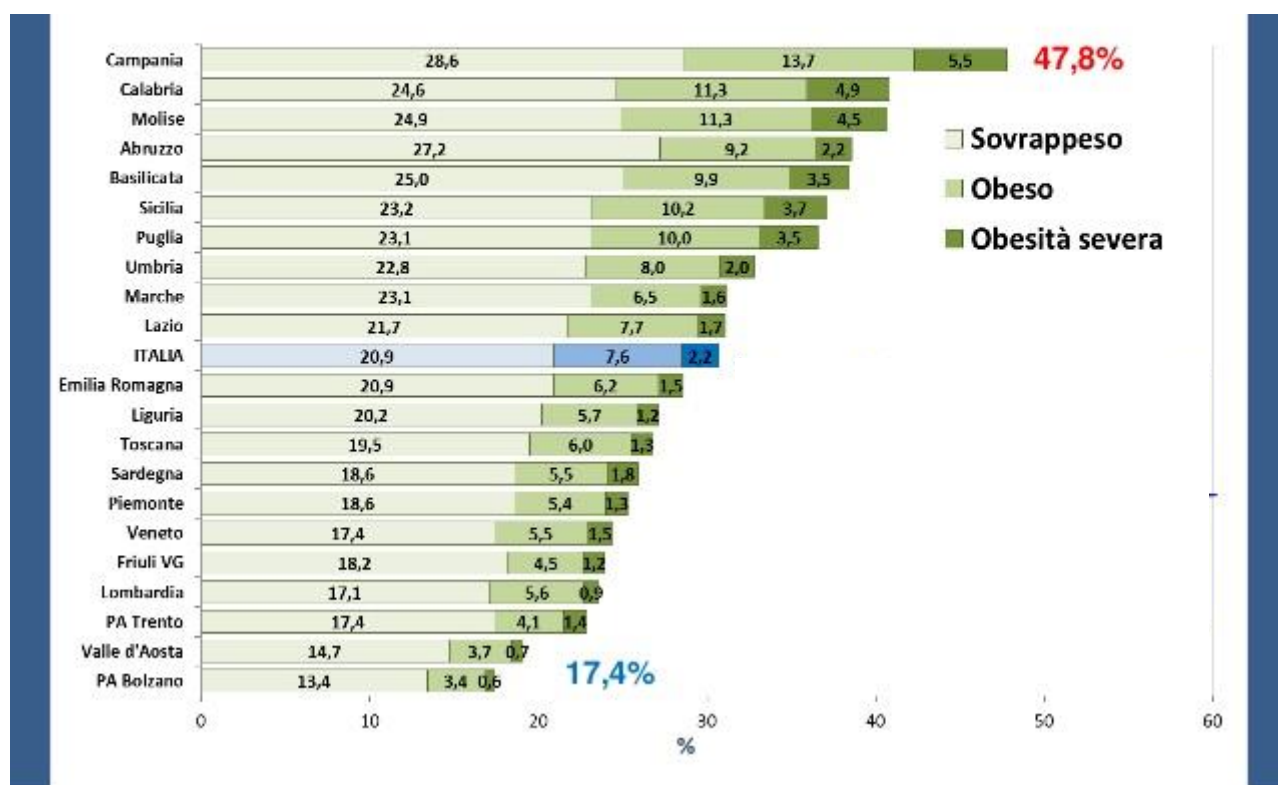


FIGURA 3

Andamento della prevalenza di sovrappeso e obesità in bambini di 8-9 anni di età in Italia dal 2008 al 2014, secondo i dati raccolti ed elaborati con cadenza biennale nell'ambito del programma di sorveglianza nutrizionale Okkio alla salute.

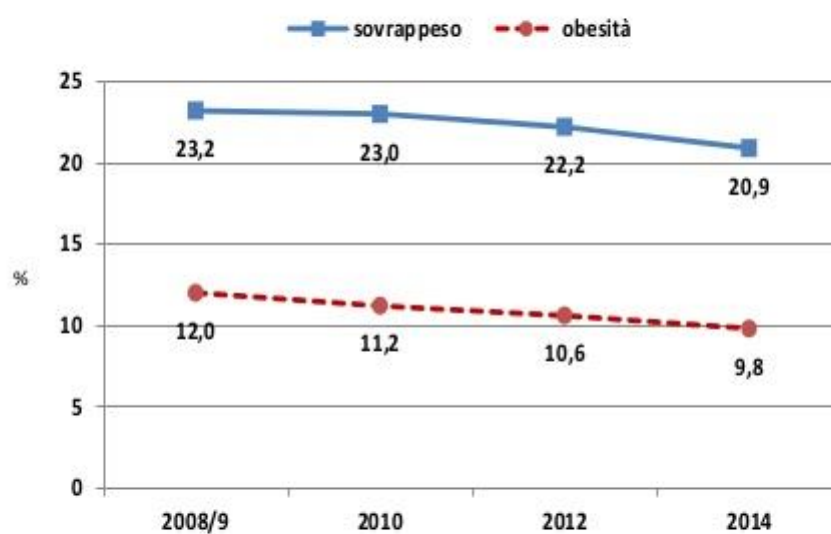


FIGURA 4

Valori di riferimento per l'HGS in base al genere, l'emilato dominante e l'età. I punteggi sono tracciati come percentili 3, 10, 50, 90, e 97 (Ploegmakers et al., 2013).

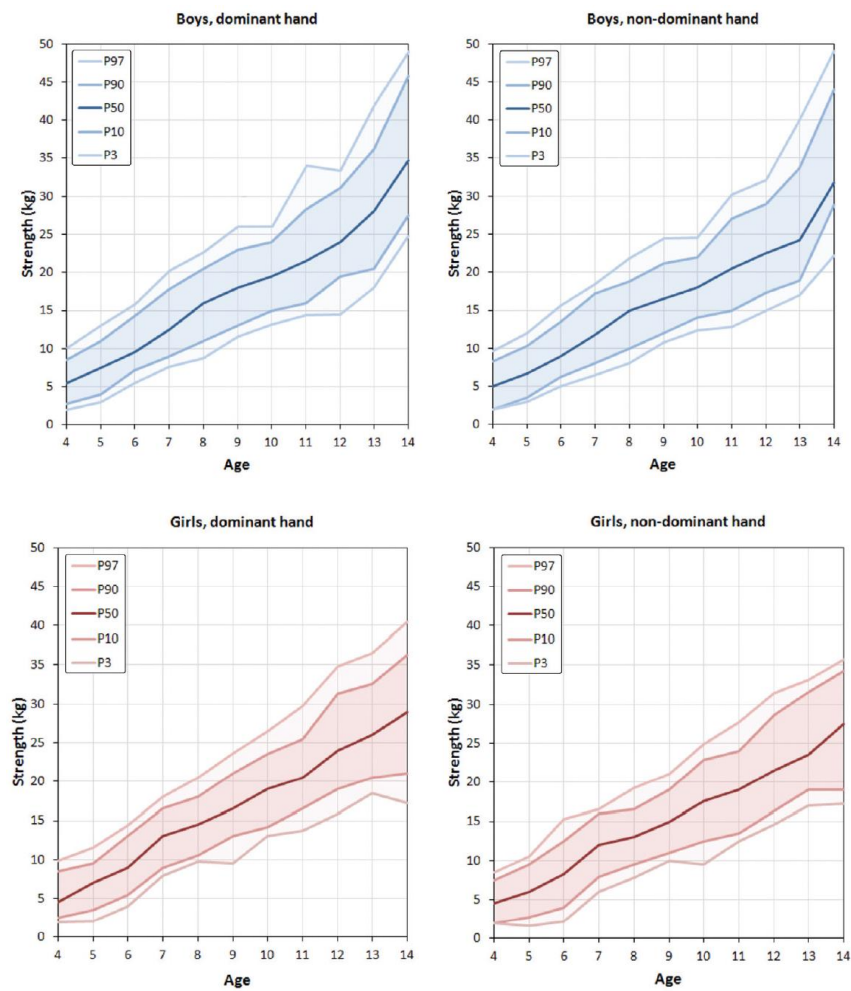
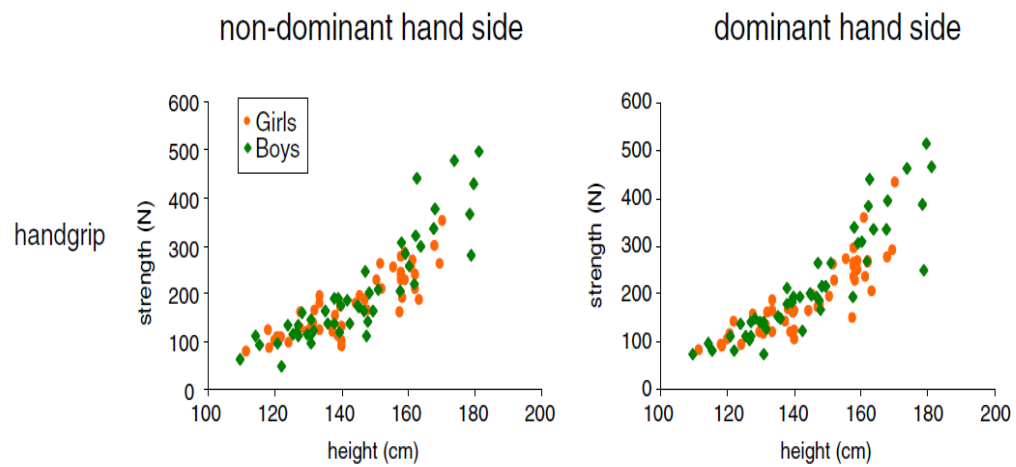


FIGURA 5

Misure di HGS rispetto alla statura di 96 soggetti, 47 di genere femminile e 49 di genere maschile, di 5-17 anni di età (Hogrel et al., 2012).



2. OBIETTIVI GENERALI

L'obiettivo generale di questa tesi è stato quello di indagare strumenti e metodologie analitiche, relativamente alla valutazione della composizione corporea e dell'efficienza fisica, potenzialmente utili nell'ambito di programmi di sorveglianza nutrizionale in età evolutiva, mirando in particolare ad incrementare le conoscenze circa la variabilità dei parametri BIA tal quali durante l'accrescimento, in relazione alle caratteristiche generali e all'efficienza fisica.

Per tale obiettivo sono stati effettuati i seguenti studi:

STUDIO 1 – Valutazione della composizione corporea mediante BIA MF in età evolutiva.

STUDIO 2 – Relazione tra variabili BIA MF tal quali ed efficienza fisica in età evolutiva.

STUDIO 3 – Composizione corporea ed efficienza fisica in bambini e adolescenti sovrappeso e obesi.

3. INDIVIDUI E METODI

Il campione oggetto del presente lavoro era costituito da un totale di 673 bambini/adolescenti di cui 310 femmine e 364 maschi, prelevati presso l'ambulatorio di Auxo-Endocrinologia e Centro di Obesità dell'Ospedale SS. Annunziata e presso due istituti comprensivi della città metropolitana di Napoli.

I criteri di inclusione e di esclusione relativi alla partecipazione alle sperimentazioni verranno illustrati nell'ambito della descrizione degli individui e dei metodi di ciascuno dei tre studi di cui si compone la presente tesi.

I dati raccolti sono stati utilizzati secondo la normativa vigente in termini di privacy; il codice per l'identificazione del singolo partecipante non era direttamente interpretabile dal soggetto stesso o da estranei. Tutti i risultati sono stati informatizzati ed organizzati su ambiente Excel ed SPSS.

3.1 Protocollo sperimentale

Le misurazioni strumentali sono state effettuate nelle diverse strutture ospitanti, in un'unica sessione, generalmente di mattina. Le valutazioni eseguite sui soggetti partecipanti allo studio riguardavano:

- le caratteristiche antropometriche;
- le variabili bioimpedenziometriche e la composizione corporea;
- l'efficienza fisica.

3.1.1 Antropometria

Le valutazioni antropometriche dello stato di nutrizione comprendevano peso, statura, alcune lunghezze corporee e circonferenza addominale secondo quanto indicato da Lohman et al., (1988).

Peso

Il peso è stato misurato su di una bilancia digitale con approssimazione a 0,1 kg;

Il paziente è stato invitato a salire sulla pedana della bilancia senza scarpe, con indumenti leggeri e i piedi sistemati al centro della piattaforma di misurazione con il peso uniformemente distribuito su di essi. Dopodichè è stata annotata la media di due misurazioni successive.

Statura

La statura è stata determinata con uno stadiometro da muro, strumento costituito da un'asta verticale graduata in mm e cm dal basso verso l'alto con approssimazione a 0,1 cm, munita di un cursore su cui è inserita, ad angolo retto, una barra orizzontale.

Il soggetto scalzo si sistemava con i talloni aderenti alla barra verticale ed i piedi ad angolo di 60°, il capo posto nel piano orizzontale di Francoforte (linea ideale tracciata tra il margine posteriore dell'orbita sinistra e il trago omolaterale), le braccia pendevano ai lati del corpo con il palmo delle mani rivolto verso le cosce, mentre scapole e natiche venivano a contatto con la barra verticale. Dopo un'inspirazione profonda del soggetto, l'operatore portava la barra orizzontale a contatto con il punto più alto del capo imprimendo una pressione tale da comprimere i capelli ed effettuava la lettura. È stata annotata la media di tre misurazioni successive.

Indice di massa corporea (BMI)

Come indice staturo-ponderale è stato calcolato l'indice di massa corporea (IMC o BMI in kg/m²) ottenuto dal rapporto fra peso corporeo e il quadrato dell'altezza.

Per la valutazione degli individui presi in esame rispetto alla popolazione di riferimento si è scelto di considerare il numero delle deviazioni standard (Standard Deviation Score, SDS) del BMI rispetto al valore medio (WHO, 1997).

La formula per il calcolo dell'SDS è la seguente:

$$\text{SDS} = (\text{valore osservato} - \text{valore medio della popolazione di riferimento}) / \text{valore della deviazione standard della popolazione di riferimento}.$$

La classificazione dei soggetti nelle categorie “normopeso”, “sovrappeso” e “obeso” è stata effettuata secondo i riferimenti di Cacciari et al. (2006) per l'età evolutiva.

Circonferenza della vita

La circonferenza della vita (CV), che è un indicatore del tessuto adiposo sottocutaneo e viscerale, è stata rilevata mediante l'uso di un metro anelastico, ed è stata annotata la media di tre misurazioni successive approssimate allo 1 mm.

Il soggetto era in posizione eretta, a piedi uniti, l'addome rilassato e scoperto e le braccia pendenti ai lati del corpo. La misurazione era effettuata in corrispondenza del punto medio della distanza tra la cresta iliaca e l'ultima costa, tracciata con una matita dermografica. Il metro veniva posto direttamente a contatto con la cute senza produrre deformazioni dei tessuti e la misurazione era effettuata alla fine di una normale espirazione. La CV veniva rilevata tenendo nella mano sinistra l'estremità del metro corrispondente allo zero e sovrapponendola alla restante parte del metro tenuto nella mano destra.

La misurazione era effettuata facendo in modo che il piano del metro fosse parallelo al pavimento e perpendicolare all'asse longitudinale del tronco.

Lunghezze corporee

Le misure venivano effettuate su entrambi gli emilati. Per ogni lunghezza sono effettuate due misurazioni e per l'analisi statistica è considerato il valore medio delle misure approssimato al più vicino 0,1 cm.

Lunghezza dell'arto superiore

Il misurazione della lunghezza dell'arto superiore è stata fatta tenendo il soggetto in posizione supina, con le braccia rilassate ai lati del corpo e il palmo delle mani rivolto posteriormente; fra l'acromion e la linea compresa fra i processi stiloidei del radio e dell'ulna sul dorso della mano.

Lunghezza dell'arto inferiore

La misurazione della lunghezza dell'arto inferiore è stata anch'essa misurata sul soggetto in posizione supina, tra il punto medio del ligamento inguinale e il punto più basso del malleolo mediale.

3.1.2 Analisi bioimpedenziometrica e composizione corporea

BIA SF

Le determinazioni BIA SF erano effettuate utilizzando un bioimpedenziometro Akern Srl BIA 101 alla frequenza di 50 kHz ed elettrodi di contatto monouso AKERN mod. PG 500, sull'intero organismo separatamente per gli emilati D e ND, e sempre indipendentemente per l'arto superiore ed inferiore D e l'arto superiore ed inferiore ND. Il valore per l'intero organismo di Z e di AF era dato dalla media fra emilato D ed emilato ND.

Il test era condotto in condizioni standardizzate ad un'opportuna temperatura ambientale (20-24°C). L'individuo (indumenti leggeri e assenza di oggetti metallici) rimaneva sdraiato per 10 minuti, su una superficie piana non conduttiva per evitare il passaggio immediato dalla posizione eretta a quella supina che induce un declino della Z (>3%), dovuto al movimento di liquidi dal versante interstiziale a quello vascolare; all'atto della misura gli arti superiori erano abdotti di circa 30° rispetto al tronco e gli arti inferiori abdotti a formare un angolo di circa 45°.

In seguito all'identificazione del punto di repere e dopo aver deterso la cute con alcool (che allontana secrezioni e cellule desquamate dallo strato corneo) venivano disposti gli elettrodi, mantenuti comunque ad una distanza di almeno 5 cm per evitare l'interferenza elettromagnetica tra elettrodi iniettori e sensori (Deurenberg, 1991). In un soggetto adulto, la distanza tra i punti di repere prossimali e distali è sempre tale da soddisfare questo criterio. Ciò non vale per i bambini per i quali è necessaria spesso una sistemazione maggiormente "prossimale" degli elettrodi. I cavi di collegamento dello strumento devono essere posizionati in modo rettilineo e non devono venire in contatto tra loro su di una superficie conduttiva, lontani dai campi elettromagnetici. Gli iniettori sono responsabili del passaggio della corrente elettrica alternata e gli elettrodi sensori sono utilizzati per le misure di impedenza.

Nello specifico, gli elettrodi sono stati disposti secondo la tecnica tetrapolare mano-piede (Organ et al., 1994) come segue:

-una coppia sul dorso della mano, rispettivamente sull'articolazione metacarpo-falangea del III dito (elettrodo iniettore) e sull'articolazione radio-ulnare (elettrodo sensore);

-una coppia sul dorso del piede omolaterale, rispettivamente sull'articolazione metatarso-falangea del III dito (elettrodo iniettore) e sull'articolazione tibio-tarsica (elettrodo sensore).

Gli elettrodi iniettore e sensore avevano una distanza minima di 5 cm, al fine di garantire l'assenza d'interferenza elettromagnetica tra loro. Sempre secondo le indicazioni di Organ et al. (1994) le misure di Z sono state raccolte in riferimento all'emilato destro e all'emilato sinistro.

BIA MF

Le misurazioni sono state effettuate con un bioimpedenziometro multifrequenza della DS MEDICA - HUMAN IM TOUCH ed elettrodi di contatto monouso. Le letture per la Z sono state effettuate in singolo alla frequenza di 5, 10, 50, 100 e 250 kHz con una corrente alternata di 0,8 mA per l'intero organismo (emilato D ed emilato ND). In seguito all'identificazione dei punti di repere, e successivamente alla detersione della cute con alcol (per migliorare la conducibilità elettrica) sono stati sistemati gli elettrodi iniettori (responsabili del passaggio della corrente elettrica alternata) e gli elettrodi sensori (utilizzati per le misure di impedenza) secondo le indicazioni di Organ et al. (1994), come descritto per la BIA SF. Le misurazioni sono state effettuate in condizioni standardizzate: ad una temperatura ambientale di 22-24°C, con l'individuo vestito di soli indumenti leggeri, tenuto in posizione supina per 10 minuti su una superficie piana non conduttiva, con gli arti superiori abdotti di circa 30° rispetto al tronco e gli arti inferiori abdotti simmetricamente a formare un angolo di circa 45°. Al soggetto sono stati tolti gli oggetti metallici eventualmente indossati.

Angolo di fase

L'angolo di fase (AF) è stato calcolato per l'intero organismo e per gli arti superiori ed inferiori a partire dai valori di resistenza e reattanza rilevate nelle misurazioni BIA totali e segmentali al passaggio di una corrente alternata con una frequenza pari a 50 kHz.

Indice bioimpedenziometrico

L'indice bioimpedenziometrico (indice BI) è stato calcolato per l'intero organismo con la formula:

$BI = \text{statura}^2 / Z$; con la statura espressa in cm e la Z in ohm.

Per gli arti superiori ed inferiori l'indice BI è stato calcolato secondo la relazione:

$BI = \text{lunghezza segmento}^2 / Z \text{ segmento}$; con la lunghezza dell'arto espressa in cm e la Z in Ohm.

Nella BIA SF, l'indice BI è stato calcolato con la Z a 50 kHz, nella BIA MF, sono stati determinati gli indici BI considerando le Z alle frequenze di 5, 10, 50, 100 e 250 kHz.

Rapporti multifrequenza

In seguito all'effettuazione della BIA MF, sono stati calcolati sei rapporti multifrequenza (IR) considerando le diverse frequenze di corrente alternata impiegate nell'analisi.

In particolare, gli IR sono stati ricavati facendo il rapporto tra la Z alle tre frequenze maggiori (50, 150 e 250 kHz) e la Z alle due frequenze minori (5 e 10 kHz). Sono stati così ottenuti i seguenti IR: IR 50/5, IR 50/10, IR 150/5, IR 150/10, IR 250/5 e IR 250/10.

Composizione corporea

Partendo dai dati antropometrici e impedenziometrici raccolti, è stata effettuata l'analisi della composizione corporea dei soggetti che hanno preso parte allo studio utilizzando l'equazione predittiva di Schaefer et al. (1994).

In particolare, la FFM è stata calcolata inserendo i valori di statura, impedenza ed età dei soggetti nella seguente equazione:

$$\text{Fat-free mass (kg)} = 0.65 \times (\text{height [cm]}^2 / \text{impedance}) + (0.68 \times \text{age [y]}) + 0.15.$$

3.1.3 Valutazione dell'efficienza fisica

Sono stati selezionati cinque test funzionali al fine di valutare:

- l'efficienza cardio-respiratoria, che riflette la capacità del sistema cardiovascolare e respiratorio di fornire ossigeno durante l'attività fisica a lungo termine;
- l'efficienza muscolo-scheletrica, che a sua volta comprende forza e resistenza muscolare, forza elastico-esplosiva e flessibilità;
- l'efficienza motoria, che è la risultante di variabili quali velocità, agilità e capacità di coordinazione.

L'esecuzione dei test del salto singolo (SALTO 1), dei cinque salti (SALTO 5), della sedia (SEDIA) e della camminata dei 6 minuti (6 MWT) è stata curata dal Dipartimento di Scienze Motorie e del Benessere dell'Università degli Studi di Napoli Parthenope.

Forza di presa della mano

La dinamometria della mano è stata effettuata con un dinamometro a maniglia meccanico Takei (T.K.K. 5001 GRIP D). Lo strumento è dotato di una scala graduata che va da 0 a 100 Kg e indica il valore della forza impressa che è determinato grazie alla presenza di una resistenza o a molla o idraulica (Figura 1). Il concetto che sta alla base del principio di funzionamento dell'apparecchio è la legge di Hooke, secondo la quale l'allungamento subito da una molla (x) è direttamente proporzionale alla forza applicata e alla costante di proporzionalità (k), detta costante elastica, che dipende dalla molla ($F = k * x$). Per utilizzare l'HGS come test di valutazione dell'efficienza fisica, è fondamentale la sua attendibilità, che dipende dalle condizioni e modalità di utilizzo:

- numero di misure, ripetute nel numero di tre ad intervalli di un minuto, come indicato in letteratura (Angst, 2010).
- individuazione del valore medio e/o del valore massimo delle misure ripetute;
- esecuzione delle misure per entrambi gli emilati;
- posizione dell'arto superiore e del corpo: le dimensioni della mano e l'ampiezza e tipo di impugnatura del dinamometro possono influenzare la misura così come il grado di flessione del gomito (España-Romero et al., 2010).

Il soggetto era in piedi, con le braccia distese e leggermente abdotte ai lati del tronco ed i piedi uniti e, per ogni arto superiore, sono state effettuate tre misurazioni a distanza di un minuto l'una dall'altra.

La peculiarità dello strumento, che lo rende particolarmente adatto all'uso pediatrico, è la possibilità di regolare l'ampiezza della presa per

ciascun soggetto in quanto varia tra 4 e 7cm (España-Romero et al., 2010). Il soggetto impugnava il dinamometro mentre l'operatore lo incoraggiava a stringere con la massima forza possibile. Appena stabilizzato, il valore veniva trascritto, con approssimazione a 0,1 kg. Per l'analisi statistica sono stati considerati sia il valore massimo di HGS (il valore più alto tra i tre registrati) che il valore medio (la media aritmetica dei tre valori registrati) per l'emilato dominante e l'emilato non dominante.

Test della sedia

L'obiettivo del test della sedia (SEDIA) è di valutare la forza muscolare della parte inferiore del corpo.

Partendo da seduti con le mani incrociate davanti al petto, il soggetto deve alzarsi, cercando di stendere completamente gli arti inferiori, e risedersi, ripetendo la sequenza il maggior numero di volte possibile in 30 secondi (Figura 1).

Per il test della sedia si utilizzano 3 tipologie di sedie:

- PICCOLA: per bambini che hanno un'altezza massima di 120 cm;
- MEDIA: per bambini con un'altezza dai 120-150 cm;
- GRANDE: per i bambini con altezza superiore ai 160 cm.

Test del salto singolo

L'obiettivo del test del salto singolo, o salto in lungo, da fermo (SALTO 1) è di valutare la forza esplosivo-elastica dei muscoli degli arti inferiori (forza dinamica). Il soggetto si posiziona con le punte dei piedi in corrispondenza del

marginale di una X segnata per terra con i piedi ad una distanza simile alla larghezza delle spalle. Inclinando il busto in avanti e posizionando le braccia all'indietro, il soggetto effettua un salto a piedi pari cercando di coprire la maggiore distanza orizzontale possibile. La prova viene ripetuta due volte e viene misurata, in entrambe le volte, la distanza tra la linea di salto ed il punto di contatto del corpo più vicino ad essa (Figura 1).

L'analisi dei risultati del test del salto in lungo permette di stabilire la forza esplosivo-elastica degli arti inferiori del soggetto.

Test dei 5 salti

Con la stessa dinamica del salto singolo, il test dei 5 salti in lungo da fermo (5 SALTI) misura le proprietà elastiche del muscolo, la potenza esplosiva e l'abilità di combinare movimenti consecutivi.

Il bambino, partendo da una posizione eretta, con i piedi uno accanto all'altro, effettua cinque salti in avanti. Completando il quinto salto i piedi devono risultare di nuovo uno accanto all'altro (Figura 1).

Test della camminata dei 6 minuti

Il test della camminata dei 6 minuti (6 minutes walking test, 6MWT) è principalmente una misura dell'efficienza cardio-respiratoria del soggetto. Generalmente, esso viene consigliato a scopo diagnostico o terapeutico, per valutare l'eventuale necessità di somministrare ossigeno durante l'attività motoria. È un test facile, ben tollerato e sicuro che permette una misura della capacità funzionale.

L'esame si svolge facendo camminare il soggetto per 6 minuti lungo un corridoio con una lunghezza pari a 30 metri, alla velocità che preferisce (Figura 1). All'inizio e al termine della prova viene rilevata la frequenza

cardiaca e valutato il grado di difficoltà respiratoria; nel corso dell'esame viene applicato un saturimetro che permette di conoscere il livello dell'ossigeno nel sangue.

3.2 Statistica

L'analisi statistica è stata condotta con il programma SPSS versione 16 per Windows.

Nella parte descrittiva i risultati sono stati espressi come media e deviazione standard (DS).

Le differenze fra i generi sono state analizzate con l'analisi della varianza (ANOVA) mediante un modello lineare generale.

Lo studio delle relazioni fra variabili è stato effettuato con la correlazione lineare semplice e con la regressione lineare multipla. Un livello $p < 0,05$ è stato scelto come soglia per la significatività statistica.

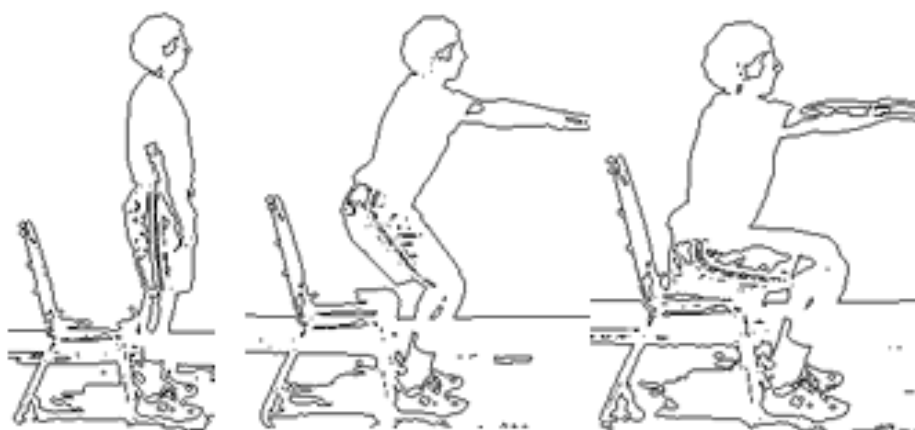
3.3 FIGURE

FIGURA 1

Test per la valutazione dell'efficienza fisica effettuati nella presente tesi



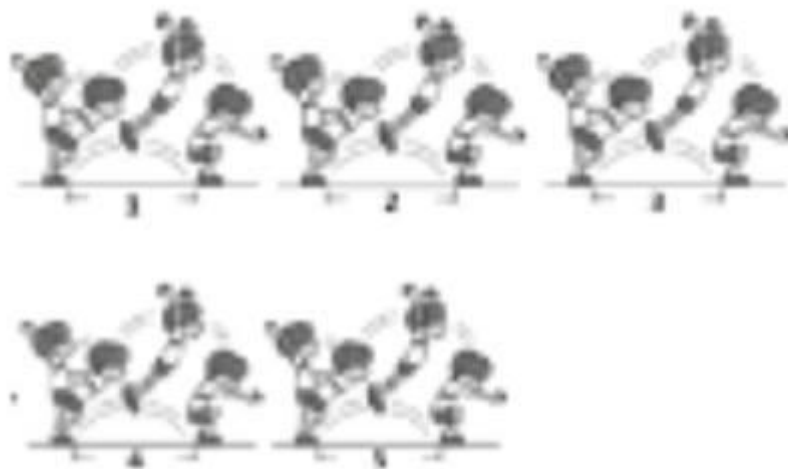
MISURA DELL'HGS CON UN DINAMOMETRO A MANIGLIA MECCANICO



TEST DELLA SEDIA



TEST DEL SALTO SINGOLO



TEST DEI 5 SALTI



TEST DELLA CAMMINATA DEI 6 MINUTI

4. STUDIO 1 – Valutazione della composizione corporea mediante BIA MF in età evolutiva

4.1 PREMESSA E OBIETTIVI SPECIFICI

Un'adeguata valutazione della composizione corporea è di fondamentale importanza per la corretta definizione dello stato di nutrizione. La veridicità di tale affermazione è tanto maggiore in età evolutiva, un periodo della vita in cui hanno luogo notevoli variazioni in tutti i compartimenti corporei. La bioimpedenziometria (BIA) è una metodica che permette di analizzare in modo rapido e semplice le caratteristiche bioelettriche dell'organismo. Le variabili BIA sono in genere inserite in specifiche formule che portano alla stima di compartimenti corporei quali la TBW e la FFM dell'organismo. L'uso di equazioni predittive non è tuttavia esente da criticità applicative poiché diverse equazioni possono dare stime discordanti dei compartimenti corporei, mancando una loro definitiva validazione a confronto con metodiche di riferimento come la DXA (Kyle, 2015).

Un'alternativa che si va affermando in letteratura è l'analisi delle variabili BIA tal quali, per come sono ottenute per misura diretta o dopo semplici aggiustamenti matematici. In particolare, l'indice bioimpedenziometrico (indice BI) per l'intero organismo, dato dal rapporto tra il quadrato della statura e la Z a frequenza pari o superiori a 50 kHz, è considerato un indicatore proxy dell'acqua corporea totale (TBW) e della massa magra alipidica (FFM). I rapporti multifrequenza (IR) e l'angolo di fase (AF) sono invece ritenuti espressione del volume dei fluidi extracellulari e/o della massa cellulare metabolicamente attiva. Gli studi sulle variabili BIA tal quali sono in età evolutiva estremamente limitati.

Sulla base delle sintetiche considerazioni ora esposte, lo scopo del presente studio è stato quello di valutare la composizione corporea di bambini

e adolescenti di 6-13 anni rispetto a una serie di aspetti che risultano di particolare interesse per la sorveglianza nutrizionale in età evolutiva:

- la valutazione della variabilità della BIA MF nei due generi in relazione all'età;
- lo studio delle relazioni delle variabili BIA con le caratteristiche individuali generali;
- l'analisi di IR e AF in età evolutiva.

4.2 INDIVIDUI E METODI

Il campione oggetto del presente lavoro era costituito da un totale di 397 bambini/adolescenti, 211 maschi e 186 femmine, che frequentavano due diversi istituti comprensivi siti nella città metropolitana di Napoli.

I criteri di inclusione per la partecipazione alla sperimentazione erano i seguenti:

- età compresa tra i 6 e i 13 anni;
- assenza di protesi in metallo;
- consenso alla partecipazione allo studio firmato dai genitori.

I dati raccolti sono stati utilizzati secondo la normativa vigente in termini di privacy; il codice per l'identificazione del singolo partecipante non era direttamente interpretabile dal soggetto stesso o da estranei. Tutti i risultati sono stati informatizzati ed organizzati su ambiente Excel ed SPSS.

4.2.1 Protocollo sperimentale

Le misure strumentali, come in seguito precisato, sono state effettuate in un'unica sessione secondo il protocollo sperimentale descritto nel capitolo 3 della presente tesi. Per il presente lavoro sono state prese in considerazione le seguenti variabili:

- caratteristiche generali: genere, età, statura e peso;
- caratteristiche antropometriche aggiuntive: circonferenza vita, lunghezza arti superiori e arti inferiori;
- variabili BIA per entrambi gli emilati e in riferimento all'organismo in toto, agli arti superiori e agli arti inferiori: a) impedenza (Z) alle frequenze di misura 5-10-50-100-250 kHz; b) angolo di fase (AF) alla frequenza di 50 kHz; c) indici

bioimpedenziometrici (indici BI) per le frequenze 5-10-50-100-250 kHz; d) sei diversi rapporti multifrequenza (IR) come rapporti tra Z alle frequenze 50, 100 e 250 kHz e Z alle frequenze 5 e 10 kHz, indicati rispettivamente come IR50/5, IR100/5, IR250/5, IR50/10, IR100/10, IR250/10.

4.2.2 Statistica

L'analisi statistica è stata condotta con il programma SPSS versione 16 per Windows.

Nella parte descrittiva i risultati sono stati espressi come media e deviazione standard (DS).

Le differenze fra i generi sono state analizzate con l'analisi della varianza (ANOVA) mediante un modello lineare generale.

Lo studio delle relazioni fra variabili è stato effettuato con la correlazione lineare semplice e con la regressione lineare multipla. Un livello $p < 0,05$ è stato scelto come soglia per la significatività statistica.

4.3 RISULTATI

4.3.1 Caratteristiche generali del campione

Nella Tabella 1 sono riassunte le caratteristiche generali del campione sperimentale, che era composto da 397 bambini di età compresa tra 6 e 13 anni, 186 femmine (età media $9,5 \pm 2,1$ anni) e 211 maschi (età media $9,9 \pm 2,2$ anni). Non emergevano differenze significative fra generi per nessuna delle variabili considerate (età, statura, peso, BMI e BMI-SDS). Nel campione considerato il 56,6% dei bambini/adolescenti era normopeso, il 32,3% sovrappeso e l'11,1% obeso. La prevalenza di eccesso ponderale era notevolmente maggiore nei maschi che nelle femmine (47,6% vs. 38,8%).

4.3.2 Impedenza

I valori della Z totali e segmentali alle diverse frequenze sono richiamati nelle Tabelle 2-4. In relazione all'intero organismo (Tabella 2) la Z a tutte le frequenze era più elevata nelle femmine, con differenze rispetto ai maschi che andavano dal 5,9% a 5 kHz fino al 6,4% a 250 kHz. Inoltre, essa diminuiva all'aumentare della frequenza di misura, con una differenza da 5 kHz a 250 kHz pari a più del 20% per entrambi i generi.

Nella Tabella 3 sono indicati i valori di Z per gli arti superiori. Si osservavano valori maggiori nelle femmine rispetto ai maschi, con uno scarto del 4,4-5,0% per l'emilato D e del 4,1-4,3% per l'emilato ND. Non sono state riscontrate differenze significative tra i due emilati. La riduzione della Z da 5 kHz a 250 kHz era di circa il 21% per ambedue gli emilati e in entrambi i generi.

Per quanto riguarda gli arti inferiori (Tabella 4), i valori risultavano costantemente più elevati per le femmine, con uno scarto di circa l'8% alle diverse frequenze. Con l'aumentare della frequenza da 5 a 250 kHz, la Z si riduceva per l'arto inferiore D del -20% circa per ambedue i generi, e per l'arto ND del -19% nelle femmine e del -20% nei maschi.

4.3.3 Indice bioimpedenziometrico

Nelle Tabelle 5-7 sono richiamati i valori dell'indice BI alle diverse frequenze rilevati per l'intero organismo, gli arti superiori e gli arti inferiori.

Per l'intero organismo (Tabella 5) i valori di indice BI risultavano più alti nel genere maschile rispetto a quello femminile a tutte le frequenze, con differenze leggermente maggiori a quelle più alte (8,3% a 5 kHz vs. 10,0% a 250 kHz). L'aumento dell'indice BI dalla frequenza di 5 kHz a quella di 250 kHz era pari al 26,5% nelle femmine e al 27,5% nei maschi.

L'indice BI era simile per i due arti superiori (Tabella 6), risultando maggiore nei maschi con una differenza rispetto alle femmine del 7,3% a 5 kHz e del 7,1% a 250 kHz (per ambedue gli emilati). L'incremento fra 5 e 250 kHz era di poco superiore al 27% in entrambi i generi (e per ambedue gli emilati).

Per quanto riguarda gli arti inferiori (Tabella 7) le differenze nell'indice BI tra generi erano pari a l'11,0-11,6% alle diverse frequenze, con valori sempre più elevati negli individui di genere maschile, senza variazioni significative tra i due emilati. L'indice BI, dalla frequenza di 5 kHz a quella di 250 kHz, aumentava del 26,2% e del 24,6% nelle femmine e del 24,6% e 26,5% nei maschi, rispettivamente per l'emilato D e l'emilato ND.

Nelle Tabelle 8-12 sono riportati i valori dell'indice BI per il totale, per gli arti superiori e per gli arti inferiori suddivisi per le quattro classi d'età 6-7 anni, 8-9 anni, 10-11 anni e 12-13 anni.

Per l'intero organismo (Tabella 8), dai 6-7 anni ai 12-13 anni l'incremento dell'indice BI era pari al 68-73% nei maschi e al 59-63% nelle femmine, e maggiore per le frequenze più elevate. Le variazioni più evidenti erano rispettivamente presenti fra terza e quarta classe, e tra prima e seconda e seconda e terza classe.

All'interno di ogni classe d'età e in entrambi i generi, l'indice BI aumentava del 26-29% nel confronto 5-250 kHz, con una tendenza a maggiori differenze all'aumentare dell'età.

Nella Tabella 9 sono riportati i valori dell'indice BI per l'arto superiore D suddivisi per classi d'età. Nel genere maschile dai 6-7 anni ai 12-13 anni si osservava un aumento dell'indice BI dell'89% a 5 kHz, del 95% a 10, 50 e 100 kHz, e del 92% a 250 kHz. Nel genere femminile, l'andamento era del tutto simile, ma le variazioni percentuali dai 6-7 ai 12-13 anni erano minori (circa l'80-82%).

Per quanto interessa l'indice BI dell'arto superiore ND (Tabella 10), nel genere maschile l'incremento osservato è pari a circa il 90% a 5 kHz, al 95% a 10, 50 e 100 kHz, e al 92% a 250 kHz. Inoltre, dalla frequenza di 5 kHz a quella di 250 kHz, esso era del 28%, 29%, 27% e 29% rispettivamente nelle quattro classi d'età in ordine crescente. Nel genere femminile si osservava un aumento dell'indice BI del 76% e del 78% rispettivamente a 5 e 10 kHz, e dell'82-83% alle frequenze di 50, 100 e 250 kHz. All'aumentare della frequenza, l'incremento dell'indice BI, dalla frequenza più bassa a quella più alta, era del 24% nella classe 6-7 anni, del 26-27% nelle due classi intermedie e del 29% nella classe 12-13 anni.

Nella Tabella 11 sono mostrati i valori dell'indice BI per l'arto inferiore D, sempre divisi per classi d'età. Nei bambini/adolescenti da 6-7 anni a 12-13 anni si aveva un aumento che andava da un minimo del 93,7% a 5 kHz a un massimo del 100% a 100 kHz. L'incremento dell'indice BI da 5 a 250 kHz aveva un andamento crescente con l'età (25% a 6-7 anni e 27% a 12-13 anni). Nel genere femminile (Tabella 11) l'aumento dell'indice BI è risultato dai 6-7 anni ai 12-13 anni di circa l'86% alle due frequenze più basse e di circa il 92% alle tre frequenze restanti. All'interno di ogni classe d'età, inoltre, l'indice BI mostrava un incremento da 5 a 250 kHz che andava da un minimo pari al 23%

(nella classe dei 6-7 anni, a un massimo pari al 27% nella classe dei 12-13 anni).

Per quanto riguarda l'arto inferiore ND (Tabella 12), nel genere maschile dai 6-7 anni ai 12-13 anni l'indice BI mostrava un incremento da un minimo del 92% (a 5 e a 10 kHz) al 100% (osservato a 100 e a 250 kHz). All'interno di ciascuna classe d'età, come per l'emilato D, l'incremento dell'indice BI all'aumentare della frequenza aveva un andamento crescente con l'età, pari al 22,9%, 25,8%, 26,6% e 28,0% nelle quattro classi considerate. Nella seconda parte della Tabella 12 è possibile osservare che nel genere femminile c'era un incremento costante dell'indice BI all'aumentare dell'età che è risultato, dai 6-7 ai 12-13 anni, pari all'84-85% alle tre frequenze più basse, e pari all'89-90% alle due frequenze più alte. All'interno di ogni classe d'età, inoltre, l'indice BI mostrava delle variazioni 5-250 kHz che andavano dal 23,2% (6-7 anni) al 26,5% (12-13 anni).

Considerando gli indici BI per l'intero organismo relativi alle cinque frequenze, un modello di regressione multipla identificava in tutti i casi come loro predittori positivi età e peso, e come predittore negativo il BMI SDS (dati non mostrati in esteso). Inoltre, confermava una differenza significativa fra generi anche dopo correzione dei dati per età, peso e BMI SDS. I risultati erano del tutto simili in relazione agli indici BI per gli arti superiori e gli arti inferiori.

4.3.4 Rapporti multifrequenza (IR)

Sono stati considerati sei diversi IR come rapporti tra Z alle frequenze 50, 100 e 250 kHz e Z alle frequenze 5 e 10 kHz, indicati rispettivamente come IR50/5, IR100/5, IR250/5, IR50/10, IR100/10, IR250/10.

Nella Tabella 13 sono riassunti i risultati relativi ai rapporti IR per l'intero organismo. Emergevano delle significative differenze ($p < 0,01$) tra generi per tutti gli IR considerati.

Nella Tabella 14 e nella Tabella 15 sono riportati gli IR rispettivamente per gli arti superiori e gli arti inferiori (emilati D e ND), distinti per genere. Si confermavano delle differenze tra maschi e femmine, che tuttavia non interessavano tutti gli IR. Ad esempio, erano assenti per l'IR 250/5 in ambedue gli arti superiori.

Nelle Tabelle 16-20 sono riportati i valori degli IR rilevati per l'intero organismo e per gli arti superiori ed inferiori, distinti per genere e per le seguenti quattro classi d'età: 6-7 anni, 8-9 anni, 10-11 anni e 12-13 anni.

Per quanto interessa le misure effettuate sull'intero organismo (Tabella 16), sia nel genere maschile che nel genere femminile, tutti gli IR subivano un decremento costante: Nella Tabella 17 sono richiamati gli IR dell'arto superiore D, divisi per genere e classi d'età. Il decremento, all'aumentare dell'età, era anche in questo caso evidente.

Per quanto riguarda l'arto superiore ND, dalla consultazione dei dati della Tabella 18 è possibile osservare che gli IR mostravano tutti un andamento, all'aumentare dell'età, simile a quello riscontrato in precedenza.

Nelle Tabelle 19-20 sono indicati gli IR relativi all'arto inferiore D e ND. Nel primo caso si osserva un decremento, dalla classe dei 6-7 anni a quella dei 12-13 anni, di piccolissima entità nel genere maschile, più consistente nel genere femminile (Tabella 19). I valori degli IR per l'arto inferiore non dominante si riducevano in entrambi i generi (Tabella 20).

4.3.5 Angolo di fase

I valori di AF a 50 kHz relativi all'analisi BIA sull'intero organismo e sugli arti superiori e inferiori sono richiamati nella Tabella 21. L'AF risultava

più alto negli individui di genere maschile rispetto a quelli di genere femminile di circa il 5% per l'intero organismo, con differenze maggiori a carico degli arti superiori (8%) e minori per gli arti inferiori (3%).

Nella Tabella 22 sono riportati i valori di AF per l'intero organismo e i valori segmentali per entrambi gli emilati, divisi per genere e per quattro classi d'età: 6-7 anni, 8-9 anni, 10-11 anni e 12-13 anni. Dalla classe di 6-7 anni alla classe di 12-13 anni l'AF totale cresceva del 9% nel genere maschile e del 12% nel genere femminile. L'AF degli arti superiori aumentava del 10-11% nei maschi e del 14-15% nelle femmine mentre quello degli arti inferiori cresceva rispettivamente dell'8% e dell'11%.

4.3.6 Relazioni tra variabili bio e caratteristiche individuali

Sono state studiate le correlazioni tra i rapporti IR e l'AF con le seguenti variabili: età, statura, peso, BMI e BMI SDS. I risultati sono riassunti nella Tabella 23, sia per il genere maschile che per il genere femminile. Tutte le variabili considerate sono negativamente correlate con i rapporti IR, mostrando alte significatività ad esclusione del BMI SDS per il quale, in particolare nel genere maschile, la significatività della correlazione risulta più bassa. La stessa osservazione vale per l'AF che risulta fortemente e positivamente correlato con età, statura, peso e BMI, sia negli individui di genere maschile che negli individui di genere femminile.

Sono inoltre stati costruiti dei modelli di regressione lineare multipla per poter valutare i possibili predittori dei rapporti IR e di AF a 50 kHz tra genere, età, statura, peso, BMI SDS. Dai dati riportati nella Tabella 24, è possibile evidenziare che sul rapporto IR 50/5 non c'era influenza del genere, a differenza degli altri due rapporti che risultavano lievemente influenzati dal genere, a parità di età e di BMI SDS. L'età e il BMI SDS risultavano predittori negativi per tutti e tre i rapporti multifrequenza considerati. Infine, si sono

rilevati predittori positivi dell'AF il genere, il BMI SDS e, in misura leggermente inferiore, l'età (dati non mostrati).

4.4 DISCUSSIONE

Durante i primi due decenni di vita si osservano notevoli variazioni nella composizione corporea che coinvolgono tutti i compartimenti dell'organismo. In termini di sorveglianza nutrizionale, la composizione corporea può essere valutata nei bambini e negli adolescenti con la BIA. Per predire TBW e FFM è possibile ricorrere ad apposite equazioni che includono le misure BIA e altri variabili quali il peso corporeo e la statura. La validazione di queste stime è sempre soggetta al confronto con metodiche di riferimento, quali la DXA, da cui sono state evidenziate discordanze nei risultati legate a numerose variabili quali l'etnia di appartenenza (Liu et al., 2011), lo stato nutrizionale (Verney et al., 2016) e l'età (Kyle et al., 2015).

Un'alternativa è quella di rifarsi alle variabili BIA tal quali, cioè alle misure BIA come ottenute direttamente sull'organismo. L'indice BI, calcolato dal quadrato della statura diviso per la Z a 50 kHz per l'intero organismo, è considerato in letteratura come un indicatore proxy della FFM mentre AF e IR sono considerati indici che riflettono il volume dei fluidi extracellulari e/o la massa cellulare metabolicamente attiva. In età evolutiva gli articoli relativi all'utilizzo delle variabili BIA tal quali sono scarsi e riguardano per lo più l'AF (Nagano et al., 2000; Selberg et al. 2002; Bosy-Westphal et al., 2006; Barufaldi et al., 2011; Peres et al., 2012; Mathias-Genovez et al., 2016), con un solo lavoro che, a nostra conoscenza, si interessa degli IR (Avila et al., 2015). Un esame dettagliato delle variabili BIA tal quali può giustificare una serie di osservazioni che vanno messe in relazione con la fisiologia e la nutrizione umana.

Il presente studio si è proposto di raccogliere in maniera sistematica dati sulla BIA MF e sull'AF a 50 kHz nell'intervallo d'età 6-13 anni, tenendo in conto le misure per l'intero organismo e segmentali ottenute alle frequenze 5-10-50-100-250 kHz. Si tratta di un massa di dati notevole che verrà di seguito discussa in termini necessariamente riassuntivi.

Il campione sperimentale era composto da 397 bambini di età compresa tra 6 e 13 anni, con valori di peso e statura maggiori per i maschi. Il dato medio per il BMI SDS era di $+0,28 \pm 1,20$ per il genere femminile e $+0,49 \pm 1,18$ per quello maschile. Secondo i riferimenti di Cacciari et al. (2006) la maggior parte degli individui è risultata normopeso (il 56,6%), con un 32,3% di soggetti sovrappeso e un 11,1% di obesi. La percentuale dei normopeso è risultata inferiore nei soggetti appartenenti al primo decennio d'età, dove è osservabile una maggiore presenza di bambini con eccesso ponderale. I risultati osservati sono in linea con quanto riportato dall'ultimo report del programma di sorveglianza nutrizionale nazionale Okkio alla Salute (ISS, dati relativi al 2014) che, in Campania aveva rilevato una percentuale di bambini sovrappeso e obesi pari al 47%, la più alta fra le regioni italiane.

4.4.1 Impedenza

Variazioni della Z, che rappresenta la capacità delle strutture biologiche di opporsi al passaggio della corrente elettrica alternata, sono attese sulla base delle modifiche della composizione corporea che si hanno nei primi due decenni di vita e che interessano l'incremento in termini assoluti in primo luogo della TBW e della FFM, e poi anche dell'ECW (che invece si riduce in termini percentuali).

Una riduzione progressiva della Z (come della sua diretta derivata R alla singola frequenza di 50 kHz), con l'età era già stata segnalata da alcuni autori della letteratura, De Palo et al. (2000) nell'intervallo 2-15 anni, Buffa et al. (2002) per l'intervallo 11-15 anni e Mathias-Genovez et al. (2015) nell'intervallo 10-18 anni. I risultati della presente tesi ampliano le conoscenze già presenti, indicando con la crescita una riduzione generalizzata della Z a tutte le frequenze, sia per le misure totali che per quelle segmentali, in

presenza di un aumento del volume del conduttore attraversato dalla corrente alternata.

Sono possibili una serie di ulteriori osservazioni dettate da un esame più dettagliato dei dati disponibili. Innanzitutto, i valori di Z erano costantemente più elevati nelle bambine/adolescenti, presumibilmente a causa di un minore peso corporeo e di una maggiore percentuale di grasso corporeo, in linea con quanto riportato in letteratura per la BIA-SF (Buffa et al. 2002, Bosy-Westphal et al., 2006; Guida et al., 2008; Mathias-Genovez et al., 2016). Tali differenze permanevano, a parità di peso e d'età, anche considerando il solo primo decennio di vita. Inoltre, nell'analisi segmentale le differenze fra generi erano più marcate per gli arti inferiori rispetto agli arti superiori. In generale, i modelli di regressione lineare multipla identificavano come predittore negativo della Z il peso e come predittore positivo l'età, confermando anche le differenze fra generi.

4.4.2 Indice BI

L'indice BI è riconosciuto come un ragionevole indicatore proxy di TBW e FFM per frequenze di misura superiori a 50 kHz. Al momento è comunemente presente, come rapporto fra statura e Z a 50 kHz, nelle equazioni predittive di TBW e FFM proposte per l'età evolutiva (Kyle et al., 2015). Al meglio delle nostre conoscenze, non sono invece disponibili in letteratura informazioni circa le sue variazioni in età evolutiva come variabile tal quale.

Il modificarsi degli indici BI con l'età dipende da quanto avviene a carico della Z ma anche dei cambiamenti che si hanno con la crescita a carico della statura e della lunghezza degli arti. Di fatto, l'andamento dell'indice BI (a tutte le frequenze) risultava speculare rispetto a quello della Z. In altre

parole, si osservava un suo aumento più che consistente con l'età sia per l'intero organismo che per gli arti superiori e gli arti inferiori.

L'indice BI era costantemente maggiore nel genere maschile in accordo con valori più elevati di FFM (e delle sue componenti extra e intracellulare), con differenze fra generi che permanevano anche dopo correzione per età e peso ed erano presenti sia prima che dopo i 10 anni. Per ogni genere, l'analisi di regressione multipla indicava che in termini generali predittori positivi per gli indici BI alle diverse frequenze risultavano età e peso, mentre il predittore negativo era il BMI SDS. Nell'analisi segmentale è da notare che le differenze fra generi, così come per le Z, erano più marcate per gli arti inferiori rispetto agli arti superiori. L'insieme di queste osservazioni non risulta al momento facilmente interpretabile e sottolinea l'opportunità di incrementare le conoscenze sulle variazioni della composizione corporea appendicolare nei primi due decenni di vita con l'utilizzo comparativo della BIA e di metodiche di riferimento quali la DXA.

4.4.3 Rapporti multifrequenza

Uno specifico interesse in nutrizione umana va riconosciuto alla possibilità di utilizzare i dati BIA tal quali per un'analisi qualitativa della FFM. L'IR definisce i rapporti fra Z a elevate frequenze e Z a frequenze più basse e, almeno in potenza, è segnalato come possibile marcatore proxy di volume extracellulare e/o di BCM (Earthman et al., 2016). Questo significa in altri termini che l'IR può fornire informazioni sulla percentuale di BCM presente all'interno della FFM. Si tratta di un'ipotesi di lavoro al momento suffragata da una serie di indicazioni in età adulta e nell'anziano che è ben poco esplorata in età evolutiva. Al meglio delle nostre, conoscenze esiste soltanto una segnalazione di Avila et al. (2015) che fa riferimento alla BIA a spettroscopia e che indica un progressivo declino del rapporto $R_{infinito}/R$

zero (estrapolazioni all'estremo di frequenze alte e di frequenze basse) nell'intervallo d'età 1-18 anni.

I dati raccolti nel presente lavoro permettono di analizzare in modo dettagliato le variazioni degli IR fra 6 e 13 anni e di comprendere se esse siano in linea con quanto atteso sulla base delle variazioni della composizione corporea che hanno luogo durante l'accrescimento, con una progressiva riduzione del rapporto ECW/ICW e l'emergere, forse in modo progressivamente più evidente, di differenze fra i generi.

Con qualche eccezione, tutti gli IR presentavano dei valori significativamente più elevati per il genere maschile sia per l'intero organismo che per gli arti, con differenze che tuttavia risultavano minime in termini assoluti. Essi mostravano un andamento decrescente rispetto all'età in entrambi i sessi (Tabelle 5-6) il che risponde in teoria a un progressivo diminuire del rapporto ECW/ICW. Abbastanza sorprendentemente, le differenze fra generi erano ben presenti nella fascia più giovane (6-7 anni) mentre scomparivano nel sottogruppo d'età 12-13 anni. Sebbene non esista un'immediata spiegazione al riguardo, si ricorda che un certo effetto sulla composizione corporea è legato alla pubertà, che come noto ha luogo nelle adolescenti prima che negli adolescenti.

4.4.4 Angolo di fase

Un certo numero di lavori in letteratura si è interessato delle variazioni dell'AF, sempre misurato a 50 kHz, nei primi due decenni di vita (De Palo et al., 2000; Buffa et al., 2002; Bosy-Westphal et al., 2006; Barufaldi et al., 2011; Mathias-Genovez et al., 2016) e ad essi si possono paragonare i dati raccolti dal presente lavoro.

Come prima osservazione, i valori di AF relativi all'analisi BIA sull'intero organismo e sugli arti superiori e inferiori (Tabella 21) risultavano

sempre maggiori negli individui di genere maschile rispetto a quelli di genere femminile di circa il 5% per la BIA totale, dell'8% per gli arti superiori e del 3% per quelli inferiori. Questa osservazione è in accordo con quanto in precedenza segnalato da altri autori sempre per l'organismo in toto (De Palo et al., 2000; Buffa et al., 2002; Barufaldi et al., 2011; Mathias-Genovez et al., 2016) ma non da altri (Bosy-Westphal et al., 2006). Da notare che le differenze fra generi erano più marcate nei bambini e non erano più presenti per le classi d'età 10-11 anni e 12-13 anni.

L'AF per l'intero organismo andava incontro a un progressivo aumento con l'età che ben si evidenziava quando i soggetti erano suddivisi in quattro classi d'età (Tabella 22). Dai 6-7 anni ai 12-13 anni l'incremento dell'AF era pari per l'intero organismo al 9% nel genere maschile e al 12% nel genere femminile, con andamenti simili anche per le misure segmentali. Un incremento con l'età è già stato osservato con chiarezza da Palo et al. (2000) e da Bosy-Westphal et al. (2006), mentre risultava più modesto nel lavoro di Mathias-Genovez et al. (2016).

Oltre che con il genere e con l'età, l'AF è risultato fortemente e positivamente correlato con statura, peso e BMI, sia negli individui di genere maschile che negli individui di genere femminile, come riportato in letteratura (Nagano et al., 2000; Selberg et al., 2002; Barufaldi et al., 2011). In precedenza, Bosy-Westphal et al. (2006), nel loro studio su più di 15.000 bambini e adolescenti, hanno individuato nell'età e nel BMI i principali determinanti dell'AF in età evolutiva. Nel nostro studio, all'analisi della regressione multipla, si sono rilevati predittori positivi di AF il genere, il BMI SDS e, in misura leggermente inferiore, l'età.

4.5 CONCLUSIONI

L'utilizzo della BIA MF nello studio della composizione corporea di bambini e adolescenti si è rivelato efficace ai fini della valutazione delle variazioni della composizione corporea durante l'accrescimento.

Il presente studio ha confermato la validità dell'impiego delle variabili BIA tal quali ai fini di una valutazione qualitativa della FFM. In merito, è possibile fare le considerazioni riportate di seguito.

- L'esame delle variabili Z e indice BI alle frequenze di 5, 10, 50, 150 e 250 kHz e delle relazioni con le caratteristiche antropometriche e generali, riferite all'intero organismo, ha fornito risultati in linea con le modifiche della composizione corporea che caratterizzano i primi due decenni di vita e che interessano in primo luogo l'incremento in termini assoluti della TBW, della FFM e dell'ECW.
- L'analisi degli IR nella fascia di età considerata ha confermato l'ipotesi dell'impiego degli stessi come marcatori proxy del volume extracellulare e/o della BCM presente all'interno della FFM nei bambini e adolescenti.
- Ai fini di una migliore interpretazione dei risultati della BIA MF relativi all'analisi segmentale, si ritiene opportuno incrementare le conoscenze sulle variazioni della composizione corporea appendicolare nei primi due decenni di vita con l'utilizzo comparativo della BIA e di metodiche di riferimento quali la DXA.
- I risultati relativi all'AF, relativamente ai rapporti con le caratteristiche antropometriche e generali degli individui in età evolutiva, hanno confermato i risultati riportati in letteratura.

I dati raccolti possono essere impiegati ai fini dell'ottenimento di valori di riferimento utili per la popolazione a cui il campione si riferisce, incrementando la numerosità del campione sottoposto ad indagine.

4.6 TABELLE E FIGURE

TABELLA 1

Caratteristiche generali del campione costituito da un totale di 397 bambini e adolescenti.

		GENERE MASCHILE (n. 211)		GENERE FEMMINILE (n. 186)		p
		Media	DS	media	DS	
Età	anni	10,0	2,2	9,7	2,1	>0,10
Statura	cm	141,1	12,7	139,4	13,3	>0,10
Peso	kg	41,4	13,2	39,3	12,9	>0,10
BMI	kg/m ²	20,4	4,5	19,8	4,2	>0,10
BMI SDS	DS	0,49	1,17	0,29	1,22	>0,10

DS = deviazione standard.

TABELLA 2

Valori dell'impedenza (Z) a diverse frequenze rilevata nei soggetti che hanno preso parte al protocollo sperimentale.

Frequenza di misura	GENERE MASCHILE (n.211)		GENERE FEMMINILE (n.186)		p
	MEDIA	DS	MEDIA	DS	
5 kHz	739	82	785	94	<0,001
10 kHz	729	82	774	93	<0,001
50 kHz	671	78	717	89	<0,001
100 kHz	636	76	679	85	<0,001
250 kHz	582	69	622	78	<0,001

DS = deviazione standard.

TABELLA 3

Valori d'impedenza (Z) per gli arti superiori nei soggetti che hanno preso parte al protocollo sperimentale.

IMPEDENZA (ohm)					
GENERE MASCHILE (n.186)			GENERE FEMMINILE (n. 211)		p
media	DS	media	DS		
ARTO SUPERIORE EMILATO DOMINANTE					
5 kHz	394	48	410	52	<0,002
10 kHz	389	48	405	52	<0,002
50 kHz	363	46	378	50	<0,001
100 kHz	344	44	360	48	<0,001
250 kHz	309	40	322	42	<0,001
ARTO SUPERIORE EMILATO NON DOMINANTE					
5 kHz	393	48	410	52	<0,001
10 kHz	389	48	406	51	<0,001
50 kHz	363	46	380	49	<0,001
100 kHz	345	44	362	48	<0,000
250 kHz	309	40	323	43	<0,001

DS = deviazione standard.

TABELLA 4

Valori dell'impedenza (Z) per gli arti inferiori nei soggetti che hanno preso parte al protocollo sperimentale.

IMPEDENZA (ohm)					
GENERE MASCHILE (n. 211)			GENERE FEMMINILE (n. 186)		p
media	DS	media	DS		
ARTO INFERIORE EMILATO DOMINANTE					
5 kHz	315	39	342	43	<0,001
10 kHz	310	39	337	43	<0,001
50 kHz	282	38	307	41	<0,001
100 kHz	267	36	291	39	<0,001
250 kHz	252	35	275	37	<0,001
ARTO INFERIORE EMILATO NON DOMINANTE					
5 kHz	318	40	345	44	<0,001
10 kHz	312	40	339	44	<0,001
50 kHz	283	38	309	41	<0,001
100 kHz	269	37	293	39	<0,001
250 kHz	253	35	278	38	<0,001

DS = deviazione standard.

TABELLA 5

Valori dell'indice bioimpedenziometrico (BI) per l'organismo intero, alle diverse frequenze, nei soggetti che hanno preso parte al protocollo sperimentale.

INDICE BIOIMPEDEZIOMETRICO (cm²/ohm)					
GENERE MASCHILE (n. 211)			GENERE FEMMINILE (n.186)		p
	media	DS	media	DS	
5 kHz	27,6	7,1	25,3	6,4	<0,001
10 kHz	28,0	7,3	25,7	6,5	<0,001
50 kHz	30,5	8,1	27,6	7,3	<0,001
100 kHz	32,2	8,7	29,3	7,7	<0,001
250 kHz	35,2	9,4	32,0	8,4	<0,001

DS=deviazione standard.

TABELLA 6

Indice bioimpedenziometrico (BI) per gli arti superiori, alle diverse frequenze, nei soggetti che hanno preso parte al protocollo sperimentale.

INDICE BIOIMPEDENZIOMETRICO (BI) (cm ² /ohm)					
GENERE MASCHILE (n. 211)			GENERE FEMMINILE (n. 186)		p
media	DS		media	DS	
INDICE BI ARTO SUPERIORE EMILATO DOMINANTE					
5 kHz	5,5	1,7	5,1	1,6	<0,02
10 kHz	5,6	1,8	5,1	1,6	<0,02
50 kHz	6,0	1,9	5,5	1,7	<0,02
100 kHz	6,3	2,1	5,8	1,8	<0,02
250 kHz	7,0	2,3	6,5	2,0	<0,02
INDICE BI ARTO SUPERIORE EMILATO NON DOMINANTE					
5 kHz	5,5	1,7	5,1	1,6	<0,05
10 kHz	5,5	1,7	5,2	1,6	<0,05
50 kHz	5,9	1,9	5,5	1,7	<0,05
100 kHz	6,3	2,0	5,8	1,8	<0,02
250 kHz	7,0	2,2	6,5	2,0	<0,05

DS=deviazione standard.

TABELLA 7

Indice bioimpedenziometrico (BI) per gli arti inferiori, alle diverse frequenze, nei soggetti che hanno preso parte al protocollo sperimentale.

INDICE BIOIMPEDENZIOMETRICO (BI) (cm ² /ohm)					
GENERE MASCHILE (n. 211)			GENERE FEMMINILE (n. 186)		p
media	DS		media	DS	
ARTO INFERIORE EMILATO DOMINANTE					
5 kHz	6,9	2,2	6,1	1,9	<0,001
10 kHz	7,0	2,2	6,2	2,0	<0,001
50 kHz	7,7	2,5	6,9	2,3	<0,001
100 kHz	8,1	2,7	7,2	2,4	<0,001
250 kHz	8,6	2,8	7,7	2,5	<0,001
ARTO INFERIORE EMILATO NON DOMINANTE					
5 kHz	6,8	2,1	6,1	1,9	<0,001
10 kHz	6,9	2,2	6,2	2,0	<0,001
50 kHz	7,7	2,5	6,8	2,2	<0,001
100 kHz	8,1	2,6	7,2	2,4	<0,001
250 kHz	8,6	2,8	7,6	2,5	<0,001

DS = deviazione standard.

TABELLA 8

Indice bioimpedenziometrico (BI) dell'intero organismo, per classi d'età e alle diverse frequenze, nei soggetti che hanno preso parte al protocollo sperimentale.

INDICE BIOIMPEDENZIOMETRICO PER L'INTERO ORGANISMO									
6-7 anni			8-9 anni		10-11 anni		12-13 anni		p
media	DS		media	DS	media	DS	media	DS	
GENERE MASCHILE									
5 kHz	21,4	2,9	24,6	3,7	29,0	4,5	36,0	7,0	<0,001
10 kHz	21,6	2,9	25,0	3,8	29,4	4,6	36,7	7,2	<0,001
50 kHz	23,3	3,2	27,1	4,2	32,0	5,1	40,3	8,1	<0,001
100 kHz	24,6	3,4	28,7	4,5	33,8	5,4	42,5	8,7	<0,001
250 kHz	26,9	3,8	31,3	4,8	37,0	5,9	46,4	9,5	<0,001
GENERE FEMMINILE									
5 kHz	19,5	3,7	24,0	5,3	29,7	5,0	30,9	3,5	<0,001
10 kHz	19,7	3,8	24,4	5,4	30,2	5,0	31,5	3,5	<0,001
50 kHz	21,2	4,1	26,4	6,0	32,9	5,6	34,5	4,0	<0,001
100 kHz	22,3	4,4	27,8	6,3	34,6	5,9	36,4	4,2	<0,001
250 kHz	24,3	4,7	30,4	7,0	37,8	6,4	39,8	4,6	<0,001

Per tutte le frequenze emerge una differenza significativa fra generi (ANOVA con età e genere come variabili determinanti)

TABELLA 9

Indice bioimpedenziometrico (BI) dell'arto superiore emilato dominante, per classi d'età e alle diverse frequenze, nei soggetti che hanno preso parte al protocollo sperimentale.

INDICE BIOIMPEDENZIOMETRICO ARTO SUPERIORE EMILATO DOMINANTE									
6-7 anni			8-9 anni		10-11 anni		12-13 anni		p
media	DS		media	DS	media	DS	media	DS	
GENERE MASCHILE									
5 kHz	3,9	0,7	4,9	0,9	5,9	1,1	7,4	1,8	<0,001
10 kHz	3,9	0,7	5,0	0,9	6,0	1,1	7,6	1,9	<0,001
50 kHz	4,2	0,8	5,3	1,0	6,4	1,3	8,2	2,1	<0,001
100 kHz	4,4	0,8	5,6	1,0	6,8	1,3	8,6	2,2	<0,001
250 kHz	5,0	0,9	6,3	1,1	7,5	1,5	9,6	2,5	<0,001
GENERE FEMMINILE									
5 kHz	3,6	0,9	4,8	1,1	6,1	1,5	6,5	0,9	<0,001
10 kHz	3,7	0,8	4,8	1,1	6,2	1,5	6,5	1,4	<0,001
50 kHz	3,9	0,9	5,2	1,2	6,7	1,6	7,1	1,0	<0,001
100 kHz	4,1	0,9	5,4	1,2	7,0	1,7	7,5	1,1	<0,001
250 kHz	4,6	1,1	6,1	1,4	7,8	1,9	8,4	1,2	<0,001

Per tutte le frequenze emerge una differenza significativa fra generi (ANOVA con età e genere come variabili determinanti)

TABELLA 10

Indice bioimpedenziometrico (BI) dell'arto superiore emilato non dominante, per classi d'età e alle diverse frequenze, nei soggetti che hanno preso parte al protocollo sperimentale.

INDICE BIOIMPEDENZIOMETRICO ARTO SUPERIORE EMILATO NON DOMINANTE												
6-7 anni media		DS	8-9 anni media		DS	10-11 anni media		DS	12-13 anni media		DS	p
GENERE MASCHILE												
5 kHz	3,9	0,7	4,9	0,9	5,9	1,1	7,4	1,8	<0,001			
10 kHz	3,9	0,7	5,0	0,9	6,0	1,1	7,6	1,9	<0,001			
50 kHz	4,2	0,8	5,3	1,0	6,4	1,3	8,2	2,1	<0,001			
100 kHz	4,4	0,8	5,6	1,0	6,8	1,3	8,6	2,2	<0,001			
250 kHz	5,0	0,9	6,3	1,1	7,5	1,5	9,6	2,5	<0,001			
GENERE FEMMINILE												
5 kHz	3,7	0,9	4,8	1,1	6,1	1,5	6,5	0,9	<0,001			
10 kHz	3,7	0,7	4,8	0,9	6,1	1,1	6,6	1,9	<0,001			
50 kHz	3,9	0,9	5,2	1,2	6,6	1,6	7,1	1,0	<0,001			
100 kHz	4,1	1,0	5,4	1,2	7,0	1,7	7,5	1,0	<0,001			
250 kHz	4,6	1,1	6,1	1,4	7,7	1,9	8,4	1,2	<0,001			

Per tutte le frequenze emerge una differenza significativa fra generi (ANOVA con età e genere come variabili determinanti)

TABELLA 11

Indice bioimpedenziometrico (BI) dell'arto inferiore emilato dominante, per classi d'età e alle diverse frequenze, nei soggetti che hanno preso parte al protocollo sperimentale.

Per tutte le frequenze emerge una differenza significativa fra generi (ANOVA con età e genere come

Frequenza di misura	INDICE BIOIMPEDENZIOMETRICO ARTO INFERIORE EMILATO DOMINANTE								p
	6-7 anni		8-9 anni		10-11 anni		12-13 anni		
	media	DS	media	DS	media	DS	media	DS	
GENERE MASCHILE									
5 kHz	4,8	0,9	5,8	0,7	7,6	1,5	9,3	2,0	<0,001
10 kHz	4,9	0,9	5,9	1,0	7,7	1,5	9,6	2,0	<0,001
50 kHz	5,3	1,0	6,6	1,1	8,5	1,7	10,5	2,3	<0,001
100 kHz	5,6	1,1	6,9	1,2	9,0	1,7	11,2	2,5	<0,001
250 kHz	6,0	1,2	7,3	1,3	9,6	1,9	11,8	2,7	<0,001
GENERE FEMMINILE									
5 kHz	4,3	0,9	5,6	1,2	7,5	1,7	8,0	1,2	<0,001
10 kHz	4,4	1,0	5,7	1,3	7,6	1,7	8,2	1,3	<0,001
50 kHz	4,8	1,1	6,3	1,5	8,3	1,9	9,2	1,8	<0,001
100 kHz	5,0	1,1	6,6	1,5	8,8	2,0	9,6	1,6	<0,001
250 kHz	5,3	1,3	7,0	1,6	9,3	2,2	10,2	1,6	<0,001

variabili determinanti)

TABELLA 12

Indice bioimpedenziometrico (BI) dell'arto inferiore emilato non dominante, per classi d'età e alle diverse frequenze, nei soggetti che hanno preso parte al protocollo sperimentale.

Frequenza di misura	INDICE BIOIMPEDENZIOMETRICO ARTO INFERIORE EMILATO NON DOMINANTE								p
	6-7 anni		8-9 anni		10-11 anni		12-13 anni		
	media	DS	media	DS	media	DS	media	DS	
GENERE MASCHILE									
5 kHz	4,8	0,9	5,8	1,0	7,5	1,5	9,2	2,0	<0,001
10 kHz	4,9	0,9	5,9	1,0	7,7	1,5	9,4	2,2	<0,001
50 kHz	5,3	1,0	6,6	1,2	8,5	1,7	10,5	2,4	<0,001
100 kHz	5,6	1,1	6,9	1,2	9,0	1,7	11,2	2,5	<0,001
250 kHz	5,9	1,1	7,3	1,3	9,5	1,9	11,8	2,7	<0,001
GENERE FEMMINILE									
5 kHz	4,3	0,9	5,5	1,2	7,4	1,7	7,9	1,3	<0,001
10 kHz	4,4	1,0	5,6	1,2	7,6	1,8	8,1	1,3	<0,001
50 kHz	4,8	1,1	6,2	1,4	8,3	2,0	8,9	1,5	<0,001
100 kHz	5,0	1,1	6,5	1,5	8,7	2,1	9,5	1,6	<0,001
250 kHz	5,3	1,2	6,9	1,6	9,2	2,2	10,0	1,7	<0,001

Per tutte le frequenze emerge una differenza significativa fra generi (ANOVA con età e genere come variabili determinanti)

TABELLA 13

Rapporti multifrequenza (IR) per l'intero organismo nei soggetti che hanno preso parte al protocollo sperimentale.

Rapporti multifrequenza	GENERE MASCHILE (n. 211)		GENERE FEMMINILE (n. 186)		p
	media	DS	media	DS	
IR Z 50 kHz/ Z 5 kHz	0,907	0,013	0,911	0,012	<0,010
IR Z 100 kHz/Z 5 kHz	0,859	0,015	0,864	0,015	<0,001
IR Z 250 kHz/Z 5 kHz	0,787	0,016	0,792	0,016	<0,001
IR Z 50 kHz /Z 10 kHz	0,921	0,011	0,924	0,010	<0,005
IR Z 100 kHz /Z 10 kHz	0,872	0,013	0,877	0,013	<0,001
IR Z 250 kHz /Z 10 kHz	0,798	0,014	0,803	0,015	<0,001

DS = deviazione standard.

TABELLA 14

Rapporti multifrequenza (IR) relativi agli arti superiori nei soggetti che hanno preso parte al protocollo sperimentale.

GENERE MASCHILE (n.211)			GENERE FEMMINILE (n.186)		p
media	DS	media	DS		
ARTO SUPERIORE EMILATO DOMINANTE					
IR Z 50 kHz/ Z 5 kHz	0,920	0,013	0,923	0,012	<0,010
IR Z 100 kHz/Z 5 kHz	0,873	0,015	0,877	0,014	<0,005
IR Z 250 kHz/Z 5 kHz	0,783	0,017	0,786	0,017	<0,100
IR Z 50 kHz /Z 10 kHz	0,931	0,011	0,933	0,010	<0,020
IR Z 100 kHz /Z 10 kHz	0,884	0,013	0,888	0,013	<0,005
IR Z 250 kHz /Z 10 kHz	0,792	0,016	0,795	0,015	<0,100
ARTO SUPERIORE EMILATO NON DOMINANTE					
IR Z 50 kHz/ Z 5 kHz	0,922	0,012	0,926	0,011	<0,005
IR Z 100 kHz/Z 5 kHz	0,876	0,014	0,881	0,014	<0,001
IR Z 250 kHz/Z 5 kHz	0,785	0,016	0,788	0,016	<0,100
IR Z 50 kHz /Z 10 kHz	0,933	0,010	0,936	0,010	<0,010
IR Z 100 kHz /Z 10 kHz	0,887	0,012	0,891	0,012	<0,005
IR Z 250 kHz /Z 10 kHz	0,794	0,015	0,796	0,014	<0,100

DS= deviazione standard.

Per tutte le frequenze emerge una differenza significativa fra generi (ANOVA con età e genere come variabili determinanti)

TABELLA 15

Rapporti multifrequenza (IR) relativi agli arti inferiori nei soggetti che hanno preso parte al protocollo sperimentale.

Frequenza di misura	GENERE MASCHILE (n. 211)		GENERE FEMMINILE (n. 186)		p
	media	DS	media	DS	
ARTO INFERIORE EMILATO NON DOMINANTE					
IR Z 50 kHz/ Z 5 kHz	0,892	0,017	0,894	0,017	NS
IR Z 100 kHz/Z 5 kHz	0,842	0,020	0,847	0,020	<0,05
IR Z 250 kHz/Z 5 kHz	0,795	0,022	0,802	0,022	<0,02
IR Z 50 kHz /Z 10 kHz	0,909	0,031	0,909	0,014	NS
IR Z 100 kHz /Z 10 kHz	0,858	0,031	0,861	0,018	NS
IR Z 250 kHz /Z 10 kHz	0,810	0,033	0,815	0,020	<0,01
ARTO INFERIORE EMILATO NON DOMINANTE					
IR Z 50 kHz/ Z 5 kHz	0,891	0,017	0,895	0,017	<0,05
IR Z 100 kHz/Z 5 kHz	0,842	0,020	0,848	0,020	<0,005
IR Z 250 kHz/Z 5 kHz	0,795	0,023	0,804	0,022	<0,001
IR Z 50 kHz /Z 10 kHz	0,907	0,016	0,910	0,014	<0,1
IR Z 100 kHz /Z 10 kHz	0,857	0,018	0,863	0,018	<0,005
IR Z 250 kHz /Z 10 kHz	0,809	0,022	0,818	0,020	<0,001

DS = deviazione standard.

Per tutte le frequenze emerge una differenza significativa fra generi (ANOVA con età e genere come variabili determinanti)

TABELLA 16

Rapporti multifrequenza (IR) per l'intero organismo, divisi per classi d'età, nei soggetti che hanno preso parte al protocollo sperimentale.

VALORI PER L'ORGANISMO IN TOTO									
6-7 anni		8-9 anni		10-11 anni		12-13 anni		P	
media	DS	media	DS	media	DS	media	DS		
GENERE MASCHILE									
IR Z 50 kHz/ Z 5 kHz	0,928	0,007	0,922	0,008	0,919	0,009	0,912	0,012	<0,001
IR Z100 kHz/Z 5 kHz	0,879	0,010	0,872	0,010	0,871	0,012	0,863	0,016	<0,001
IR Z 250 kHz/Z 5 kHz	0,803	0,011	0,799	0,013	0,798	0,014	0,791	0,017	<0,001
IR Z 50 kHz /Z 10 kHz	0,917	0,008	0,909	0,009	0,905	0,010	0,896	0,015	<0,001
IR Z 100 kHz /Z 10 kHz	0,869	0,011	0,860	0,011	0,858	0,013	0,849	0,018	<0,001
IR Z 250 kHz /Z 10 kHz	0,794	0,012	0,788	0,013	0,786	0,015	0,778	0,019	<0,001
GENERE FEMMINILE									
IR Z 50 kHz/ Z 5 kHz	0,920	0,009	0,911	0,009	0,906	0,010	0,899	0,014	<0,001
IR Z 100 kHz/Z 5 kHz	0,875	0,012	0,865	0,011	0,860	0,012	0,852	0,017	<0,001
IR Z 250 kHz/Z 5 kHz	0,801	0,014	0,793	0,013	0,788	0,014	0,780	0,019	<0,001
IR Z 50 kHz /Z 10 kHz	0,932	0,008	0,924	0,008	0,920	0,008	0,914	0,012	<0,001
IR Z 100 kHz /Z 10 kHz	0,875	0,012	0,865	0,011	0,860	0,012	0,852	0,017	<0,001
IR Z 250 kHz /Z 10 kHz	0,801	0,012	0,793	0,013	0,788	0,015	0,780	0,019	<0,001

DS = deviazione standard.

Per tutte le frequenze emerge una differenza significativa fra generi (ANOVA con età e genere come variabili determinanti).

TABELLA 17

Rapporti multifrequenza (IR) per l'arto superiore dominante, divisi per classi d'età, nei soggetti che hanno preso parte al protocollo sperimentale.

VALORI PER L'ARTO SUPERIORE EMILATO DOMINANTE									
	6-7 anni		8-9 anni		10-11 anni		12-13 anni		P
	media	DS	media	DS	media	DS	media	DS	
GENERE MASCHILE									
IR Z 50 kHz/ Z 5 kHz	0,927	0,010	0,921	0,010	0,918	0,011	0,910	0,015	<0,001
IR 100 kHz/Z 5 kHz	0,880	0,012	0,874	0,013	0,872	0,013	0,863	0,018	<0,001
IR Z 250 kHz/Z 5 kHz	0,787	0,013	0,783	0,017	0,782	0,015	0,775	0,020	<0,005
IR Z 50 kHz /Z 10 kHz	0,938	0,008	0,932	0,009	0,929	0,009	0,923	0,013	<0,001
IR Z 100 kHz /Z 10 kHz	0,891	0,011	0,885	0,012	0,883	0,012	0,876	0,016	<0,001
IR Z 250 kHz /Z 10 kHz	0,796	0,012	0,792	0,016	0,792	0,014	0,786	0,018	<0,02
GENERE FEMMINILE									
IR Z 50 kHz/ Z 5 kHz	0,930	0,010	0,924	0,011	0,920	0,011	0,913	0,014	<0,001
IR 100 kHz/Z 5 kHz	0,885	0,013	0,878	0,014	0,874	0,013	0,868	0,017	<0,001
IR Z 250 kHz/Z 5 kHz	0,791	0,016	0,787	0,017	0,785	0,017	0,779	0,027	<0,05
IR Z 50 kHz /Z 10 kHz	0,940	0,008	0,934	0,009	0,931	0,008	0,901	0,145	<0,05
IR Z 100 kHz /Z 10 kHz	0,894	0,011	0,888	0,013	0,885	0,011	0,856	0,138	<0,05
IR Z 250 kHz /Z 10 kHz	0,800	0,015	0,795	0,016	0,794	0,016	0,769	0,126	<0,1

DS = deviazione standard.

Per tutte le frequenze emerge una differenza significativa fra generi (ANOVA con età e genere come variabili determinanti).

TABELLA 18

Rapporti multifrequenza (IR) per l'arto superiore non dominante (ND), divisi per classi d'età, nei soggetti che hanno preso parte al protocollo sperimentale.

IR ARTO SUPERIORE EMILATO NON DOMINANTE									
6-7 anni		8-9 anni		10-11 anni		12-13 anni		P	
media	DS	media	DS	media	DS	media	DS		
GENERE MASCHILE									
IR50/5	0,930	0,009	0,922	0,010	0,921	0,010	0,915	0,015	<0,001
IR100/5	0,883	0,010	0,876	0,013	0,875	0,013	0,869	0,019	<0,001
IR250/5	0,788	0,012	0,783	0,017	0,781	0,031	0,792	0,048	NS
IR50/10	0,938	0,008	0,934	0,009	0,932	0,009	0,927	0,011	<0,001
IR100/10	0,891	0,010	0,887	0,012	0,886	0,012	0,881	0,017	<0,002
IR250/10	0,795	0,012	0,793	0,016	0,791	0,030	0,802	0,048	NS
GENERE FEMMINILE									
IR50/5	0,932	0,008	0,926	0,012	0,923	0,010	0,917	0,012	<0,001
IR100/5	0,888	0,012	0,881	0,015	0,878	0,013	0,872	0,015	<0,001
IR250/5	0,793	0,015	0,788	0,016	0,787	0,016	0,779	0,026	<0,01
IR50/10	0,941	0,007	0,936	0,009	0,934	0,009	0,929	0,010	<0,001
IR100/10	0,896	0,011	0,891	0,013	0,889	0,012	0,883	0,014	<0,001
IR250/10	0,800	0,014	0,797	0,015	0,797	0,015	0,788	0,026	<0,05

DS = deviazione standard.

Per tutte le frequenze emerge una differenza significativa fra generi (ANOVA con età e genere come variabili determinanti).

TABELLA 19

Rapporti multifrequenza (IR) per l'arto inferiore dominante (D), divisi per classi d'età, nei soggetti che hanno preso parte al protocollo sperimentale.

IR ARTO INFERIORE EMILATO DOMINANTE									
									P
6-7 anni		8-9 anni		10-11 anni		12-13 anni			
media	DS	media	DS	media	DS	media	DS		
GENERE MASCHILE									
IR50/5	0,906	0,011	0,893	0,015	0,889	0,013	0,890	0,054	<0,01
IR100/5	0,857	0,014	0,843	0,019	0,843	0,030	0,841	0,060	<0,1
IR250/5	0,807	0,017	0,797	0,022	0,793	0,020	0,792	0,054	<0,05
IR50/10	0,918	0,010	0,908	0,012	0,905	0,011	0,917	0,080	<0,2
IR100/10	0,868	0,013	0,857	0,017	0,858	0,029	0,867	0,081	<0,5
IR250/10	0,818	0,016	0,810	0,020	0,808	0,019	0,817	0,077	<0,5
GENERE FEMMINILE									
IR50/5	0,909	0,011	0,895	0,011	0,895	0,052	0,875	0,039	<0,001
IR100/5	0,863	0,015	0,848	0,014	0,846	0,052	0,838	0,035	<0,01
IR250/5	0,818	0,019	0,802	0,017	0,801	0,052	0,787	0,025	<0,001
IR50/10	0,922	0,010	0,910	0,011	0,912	0,052	0,892	0,038	<0,001
IR100/10	0,875	0,014	0,862	0,013	0,862	0,052	0,854	0,034	<0,05
IR250/10	0,829	0,019	0,816	0,017	0,816	0,052	0,802	0,024	<0,005

DS = deviazione standard.

Per tutte le frequenze emerge una differenza significativa fra generi (ANOVA con età e genere come variabili determinanti).

TABELLA 20

Rapporti multifrequenza (IR) per l'arto inferiore non dominante (ND), divisi per classi d'età, nei soggetti che hanno preso parte al protocollo sperimentale.

IR ARTO INFERIORE EMILATO NON DOMINANTE									
									p
6-7 anni		8-9 anni		10-11 anni		12-13 anni			
media	DS	media	DS	media	DS	media	DS		
GENERE MASCHILE									
IR50/5	0,905	0,011	0,893	0,015	0,889	0,015	0,878	0,020	<0,001
IR100/5	0,857	0,014	0,844	0,018	0,842	0,023	0,839	0,065	<0,1
IR250/5	0,808	0,016	0,797	0,023	0,797	0,037	0,783	0,027	<0,001
IR50/10	0,918	0,009	0,908	0,012	0,905	0,012	0,897	0,024	<0,001
IR100/10	0,868	0,012	0,858	0,017	0,857	0,021	0,858	0,066	<0,5
IR250/10	0,819	0,016	0,810	0,022	0,811	0,036	0,801	0,028	<0,01
GENERE FEMMINILE									
IR50/5	0,909	0,012	0,896	0,013	0,890	0,058	0,888	0,046	<0,05
IR100/5	0,864	0,015	0,849	0,015	0,848	0,046	0,833	0,021	<0,001
IR250/5	0,819	0,020	0,802	0,022	0,804	0,045	0,790	0,027	<0,001
IR50/10	0,922	0,010	0,911	0,010	0,912	0,048	0,907	0,046	<0,2
IR100/10	0,876	0,014	0,862	0,013	0,871	0,068	0,850	0,019	<0,02
IR250/10	0,831	0,019	0,815	0,021	0,826	0,067	0,806	0,026	<0,05

DS = deviazione standard.

Per tutte le frequenze emerge una differenza significativa fra generi (ANOVA con età e genere come variabili determinanti)

TABELLA 21

Angolo di fase (AF) a 50 kHz per l'intero organismo, gli arti superiori e gli arti inferiori (per ciascuno dei due emilati) nel campione in esame.

ANGOLO DI FASE (GRADI)					
	GENERE MASCHILE (n. 213)		GENERE FEMMINILE (n.194)		p
	media	DS	media	DS	
Totale	5,05	0,52	4,80	0,51	<0,001
Arto superiore D	3,92	0,61	3,62	0,58	<0,001
Arto superiore ND	3,86	0,57	3,57	0,56	<0,001
Arto inferiore D	6,47	0,64	6,29	0,66	<0,010
Arto inferiore ND	6,46	0,65	6,21	0,67	<0,001

DS=deviazione standard.

TABELLA 22

Valori dell'angolo di fase (AF) rilevati a 50 kHz, divisi per classi d'età, rispettivamente per il genere maschile per il genere femminile.

ANGOLO DI FASE (gradi)									
	6-7 anni		8-9 anni		10-11 anni		12-13 anni		P
	media	DS	media	DS	media	DS	media	DS	
GENERE MASCHILE									
Totale	4,87	0,38	5,01	0,44	5,02	0,49	5,29	0,66	<0,001
Arto superiore D	3,77	0,45	3,85	0,57	3,87	0,57	4,20	0,72	<0,002
Arto superiore ND	3,73	0,44	3,82	0,54	3,80	0,55	4,12	0,68	<0,005
Arto inferiore D	6,21	0,49	6,47	0,62	6,50	0,57	6,69	0,81	<0,005
Arto inferiore ND	6,21	0,48	6,44	0,65	6,48	0,63	6,71	0,77	<0,002
GENERE MASCHILE									
Totale	4,58	0,48	4,78	0,43	4,87	0,43	5,13	0,58	<0,001
Arto superiore D	3,47	0,52	3,59	0,57	3,62	0,53	3,97	0,62	<0,001
Arto superiore ND	3,41	0,49	3,55	0,58	3,56	0,51	3,91	0,57	<0,001
Arto inferiore D	5,93	0,55	6,30	0,51	6,47	0,57	6,61	0,87	<0,001
Arto inferiore ND	5,92	0,55	6,22	0,50	6,30	0,72	6,57	0,82	<0,001

TABELLA 23

Indici di correlazione dei rapporti IR e AF con le caratteristiche generali dei soggetti che hanno preso parte al protocollo sperimentale.

GENERE MASCHILE		Età	Statura	Peso	BMI	BMI SDS
IR 50/5	Correlazione di Pearson	-0,588	-0,610	-0,592	-0,376	-0,169
	p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,02
IR 100/5	Correlazione di Pearson	-0,486	-0,504	-0,521	-0,355	-0,195
	p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,005
IR 250/5	Correlazione di Pearson	-0,372	-0,362	-0,383	-0,265	-0,156
	p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,05
AF 50	Correlazione di Pearson	0,274	0,270	0,314	0,226	0,146
	p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,05

GENERE FEMMINILE		Età	Statura	Peso	BMI	BMI SDS
IR 50/5	Correlazione di Pearson	-0,623	-0,594	-0,607	-0,432	-0,250
	p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
IR 100/5	Correlazione di Pearson	-0,566	-0,524	-0,562	-0,422	-0,263
	p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
IR 250/5	Correlazione di Pearson	-0,503	-0,430	-0,455	-0,334	-0,189
	p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01
AF 50	Correlazione di Pearson	0,388	0,314	0,386	0,328	0,246
	p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

TABELLA 24

Predittori dei rapporti multifrequenza (IR) e dell'angolo di fase a 50 kHz relativi all'intero organismo dei bambini/adolescenti che hanno partecipato allo studio.

Variabile dipendente	Intercetta	Genere	Età	BMI SDS	R ²	SEE
IR Z 50 kHz/Z 5kHz*	+948,3 (2,3)	-	-3,914 (0,226)	-3,275 (0,402)	0,46	9,469
IR Z 100 kHz/Z 5 kHz*	+903,7 (2,9)	-2,65 (1,22)	-4,021 (0,288)	-3,909 (0,512)	0,38	12,020
IR Z 250 kHz/Z 5 kHz*	+826,3 (3,4)	-3,40 (1,41)	-3,506 (0,333)	-3,205 (0,593)	0,26	13,899
Angolo di fase 50 kHz	+3,94 (0,12)	+0,176 (0,047)	+0,087 (0,011)	+0,105 (0,020)	?	?

*per convenienza, i valori degli IR sono stati moltiplicati per 1000.

5. STUDIO 2 – Relazioni tra variabili BIA MF tal quali ed efficienza fisica in bambini e adolescenti

5.1 PREMESSA E OBIETTIVI SPECIFICI

L'efficienza fisica può essere definita come lo stato di benessere fisico dell'individuo, tale da soddisfare in modo adeguato le molteplici esigenze funzionali della vita quotidiana, raggiungibile attraverso uno stile di vita sano, con una dieta equilibrata e adeguati livelli di attività fisica (Ortega et al., 2008). L'efficienza fisica può essere considerata un indicatore dello stato di salute sia in età adulta che in età evolutiva, come numerosi studi condotti su bambini e adolescenti hanno dimostrato.(Ortega, 2008; Smith et al. 2014; Cattuzzo et al.; 2016).

La valutazione dell'efficienza fisica in età evolutiva può essere effettuata con specifici test atti a misurare diverse componenti quali la forza muscolare, l'efficienza cardio-respiratoria, la flessibilità, le abilità motorie, la resistenza muscolare (Thivel et al, 2016; Ramirez-Velez et al., 2016; Fjørtoft et al., 2011).

L'inclusione di batterie di test nei sistemi di sorveglianza sanitaria da effettuare periodicamente nelle scuole rappresenterebbe una strategia estremamente utile per monitorare l'efficienza fisica e quindi lo stato di salute di bambini e adolescenti.

Tuttavia, i risultati dei test di efficienza fisica sono correlati a numerose variabili come il genere (Tambalis et al., 2016), l'età cronologica e biologica (Lloyd et al., 2014), le caratteristiche antropometriche (Hrasky et al., 2015), aspetti di natura genetica (Pescatello et al., 2013), l'etnia (Araujo et al., 2010), l'ambiente (Ari et al., 2014). Da qui si comprende la necessità di disporre di valori di riferimento idonei, differenziati in base alla tipologia dei individui oggetto delle valutazioni. Inoltre, in letteratura sono rari gli studi sulle relazioni tra i risultati dei test di efficienza fisica e la composizione corporea

in età evolutiva e sono del tutto assenti studi che prendano in esame le variabili BIA MF.

Alla luce di quanto sin qui descritto, lo scopo del presente lavoro era di valutare l'efficienza fisica di bambini e adolescenti di 6-13 anni per:

- studiare l'efficacia di cinque test selezionati per la semplicità e la rapidità di esecuzione nel descrivere uno o più aspetti dell'efficienza fisica in età evolutiva;
- mettere in relazione i risultati dei test, oltre che con le caratteristiche generali, con le variabili BIA MF tal quali dei bambini/adolescenti;
- indagare le differenze delle varie componenti dell'efficienza fisica, rispetto a parametri quali l'età, il genere e la composizione corporea;
- individuare dei dati di riferimento relativi alle misure di efficienza fisica, vista l'importanza che test semplici, come quelli proposti, potrebbe rivestire nell'ambito della sorveglianza nutrizionale in età evolutiva.

5.2 INDIVIDUI E METODI

Bambini e adolescenti sono stati reclutati presso due istituti comprensivi siti nella città metropolitana di Napoli.

I criteri di inclusione per la partecipazione alla sperimentazione erano i seguenti:

- età compresa tra i 6 e i 13 anni
- consenso alla partecipazione allo studio firmato dai genitori.

I criteri di esclusione erano:

- presenza di protesi in metallo
- efficienza fisica compromessa a causa di patologie, handicap o infortuni.

I dati raccolti sono stati utilizzati secondo la normativa vigente in termini di privacy; il codice per l'identificazione del singolo partecipante non era direttamente interpretabile dal soggetto stesso o da estranei. Tutti i risultati sono stati informatizzati ed organizzati su ambiente Excel ed SPSS.

5.2.1 Protocollo sperimentale

La rilevazione dei dati sperimentali è stata effettuata in un'unica sessione, secondo il protocollo sperimentale descritto nel capitolo 3 della presente tesi. In particolare, sono state prese in considerazione le seguenti variabili:

- caratteristiche generali: genere, età, statura e peso;
- caratteristiche antropometriche aggiuntive: circonferenza vita, lunghezza arti superiori e arti inferiori;

- variabili BIA, raccolte per entrambi gli emilati e in riferimento all'organismo in toto, agli arti superiori e agli arti inferiori: a) impedenza (Z) alle frequenze di misura 5-10-50-100-250 kHz; b) angolo di fase (AF) alla frequenza di 50 kHz; c) indici bioimpedenziometrici (indici BI) per le frequenze 5-10-50-100-250 kHz; d) rapporti multifrequenza (IR) come rapporti tra Z alle frequenze 50, 100 e 250 kHz e Z alle frequenze 5 e 10 kHz, indicati rispettivamente come IR50/5, IR100/5, IR250/5, IR50/10, IR100/10, IR250/10;
- composizione corporea: massa magra alipidica (FFM), massa lipidica in termini assoluti (FM) e in termini percentuali (%FM);
- efficienza fisica valutata con i test della forza di presa della mano (HGS), della sedia (SEDIA), del salto singolo (SALTO 1), dei cinque salti (SALTO 5) e della camminata dei 6 minuti (6MWT).

I dati sui test SEDIA, SALTO 1, SALTO 5 e 6MWT sono stati raccolti nell'intervallo d'età 8-13 anni essendo di difficile esecuzione nei bambini più piccoli.

5.2.2 Statistica

L'analisi statistica è stata condotta con il programma SPSS versione 20 per Windows. Nella parte descrittiva i risultati sono stati espressi come media e deviazione standard (DS). Le differenze fra i generi sono state analizzate con l'analisi della varianza (ANOVA) mediante un modello lineare generale. Lo studio delle associazioni e delle relazioni fra variabili è stato effettuato con la correlazione lineare semplice e la regressione lineare multipla. Un livello $p < 0,05$ è stato scelto come soglia per la significatività statistica.

5.3 RISULTATI

5.3.1 HGS

Il campione sperimentale era composto da 397 bambini d'età compresa tra 6 e 13 anni (Tabella 1), 211 maschi (età media $9,9 \pm 2,2$ anni) e 186 femmine (età media $9,5 \pm 2,1$ anni) e corrispondeva a quello già descritto in precedenza per lo studio 1. I soggetti di genere femminile avevano un peso medio di $38,4 \pm 12,8$ kg e una statura media di $138,2 \pm 13,4$ cm; mentre i soggetti di genere maschile presentavano un peso medio pari a $41,1 \pm 13,3$ kg e una statura media di $140,7 \pm 12,8$ cm. Il BMI era rispettivamente di $19,6 \pm 4,2$ kg/m² e di $20,4 \pm 4,5$ kg/m², con una differenza tra generi di circa il 4%. Il valore medio per il BMI SDS era di $+0,28 \pm 1,20$ per il genere femminile e $+0,49 \pm 1,18$ per quello maschile.

Nel campione considerato il 56,6% dei bambini/adolescenti era normopeso, il 32,3% sovrappeso e l'11,1% obeso. La prevalenza di eccesso ponderale era notevolmente maggiore nei maschi che nelle femmine (47,6% vs. 38,8%).

I risultati del test HGS, relativi a entrambi i generi, sono mostrati nella Tabella 2. I valori erano significativamente maggiori nei maschi, con una differenza rispetto alle femmine pari all'11,8%, all'11,3% e all'11,5% rispettivamente per l'emilato D, l'emilato ND e il valore medio.

Sono state successivamente studiate le correlazioni dell'HGS con le variabili età, statura, peso, BMI SDS, indici BI, IR e AF. I risultati sono sintetizzati nella Tabella 3 per il genere maschile e nella Tabella 4 per il genere femminile. In ambedue i generi emergeva una forte associazione con l'età, il peso e la statura, ma non con il BMI SDS. Per quanto riguarda gli indici BI, il valore del coefficiente di Pearson aumentava al crescere della frequenza di misura da 5 kHz a 250 kHz. Inoltre, era presente una correlazione

negativa con gli IR (particolarmente elevata per l'IR50/5) e una più debole correlazione positiva con l'AF.

Il modello della regressione lineare multipla è stato utilizzato per meglio valutare i possibili fattori determinanti dell'HGS, come riportato nelle Tabelle 5-9. Per quanto riguarda le caratteristiche generali dell'individuo emergevano insieme come predittori l'età, la statura e il peso in entrambi i generi, con l'unica eccezione dei maschi per l'emilato ND, nel qual caso il predittore era il BMI SDS e non il peso (Tabella 5). L' R^2 risultava in tutti i casi superiore a 0,60.

Prendendo in considerazione le variabili BIA, sono stati esaminate separatamente le combinazioni indice BI a 50 kHz e IR 50/5 (Tabella 6), indice BI a 100 kHz e IR 100/5 (Tabella 7); indice BI a 250 kHz e IR 250/5 (Tabella 8) In tutti questi casi si rivelavano, in combinazione, predittori positivi dell'HGS gli indici BI e predittori negativi gli IR, con valori di R^2 simili nei tre casi, maggiori nei maschi e superiori a quelli osservati con il modello che considerava le caratteristiche generali (vedi sopra). Risultati del tutto analoghi emergevano in riferimento alla combinazione indice BI a 50 kHz e AF (Tabella 9).

5.3.2 Test di efficienza fisica

Come già segnalato, i test di efficienza fisica sono stati eseguiti per l'intervallo d'età 8-13 anni. Il campione sperimentale risultava composto da 281 bambini, 154 di genere maschile, con un'età media di $10,9 \pm 1,6$ anni, e 127 di genere femminile, con un'età media di $10,7 \pm 1,6$ anni (Tabella 10). I soggetti di genere maschile presentavano un peso medio pari a $45,2 \pm 12,9$ kg e una statura di $145,7 \pm 10,3$ cm. I soggetti di genere femminile avevano un peso medio di $43,9 \pm 11,8$ kg e una statura media di $145,4 \pm 10,1$ cm. Il valore medio

per il BMI SDS era di $+0,31 \pm 1,19$ per il genere femminile e $+0,43 \pm 1,22$ per il genere maschile.

I valori medi erano maggiori ($p < 0,001$) nel genere maschile rispetto al genere femminile per il test SALTO 1 (121 ± 26 vs. 106 ± 22 cm), con una differenza pari all'14%, e per il SALTO 5, per cui lo scarto era del 12% (649 ± 115 cm nei maschi e 580 ± 91 cm nelle femmine). Invece, per i test SEDIA e 6MWT le differenze fra generi sono risultate non significative o marginali, essendo i valori nei maschi rispettivamente dello 0,5 e del 2% maggiori rispetto a quelli rilevati nelle femmine (Tabella 11).

Successivamente, sono state studiate le correlazioni tra i test di efficienza fisica SEDIA, SALTO 1, SALTO 5 e 6MWT con le variabili età, statura, peso, BMI SDS, indice BI a 50 kHz, IR alle diverse frequenze e AF. I risultati sono riportati nella Tabella 12 per il genere maschile e nella Tabella 13 per il genere femminile.

Il test SEDIA presentava una debole correlazione negativa con statura e peso in ambedue i generi e con gli indici BI solo nelle femmine.

Per quanto interessa il test del SALTO 1, nei maschi emergevano correlazioni positive con età, statura, BMI SDS, indici BI, e negative solo nel caso degli IR. Le stesse correlazioni apparivano più deboli nelle femmine.

IL test del SALTO 5 mostrava nei bambini/adolescenti correlazioni positive con età, statura e indici BI, e negative con BMI SDS e tutti gli IR considerati, ad eccezione dell'IR 250/5. Nelle bambine/adolescenti questi risultati si confermavano, ma con valori del coefficiente di Pearson più bassi.

Infine, anche i valori del 6MWT si presentavano correlati significativamente con le variabili considerate, in particolare con età e statura, ma anche con le diverse variabili BIA. Restava debole l'associazione con il peso corporeo.

Sulla base dei risultati della correlazione lineare semplice, si è proceduto a effettuare un'analisi multivariata (regressione lineare multipla) volta a selezionare i predittori più ragionevoli per i diversi test di efficienza fisica (Tabella 14), in primo luogo tenendo in considerazione le caratteristiche individuali maggiori. L'età emergeva come un predittore per i test SALTO 1, SALTO 5 e 6MWT, il peso per i test SEDIA e SALTO 5, e il BMI SDS per i test SALTO 1 e 6MWT (Tabella 14). Nel loro complesso i modelli mostravano un R^2 molto basso per il test SEDIA, per arrivare fino a un valore di 0,515 per il TEST 6MWT.

Quando si guardava alle variabili BIA (Tabella 15), includendo nel modello anche età, genere e BMI-SDS, IB a 50 kHz e IR50/5 (presi come combinazione esemplificativa) risultavano predittori significativi dei valori di SALTO 1 e SALTO 5, mentre l'IR 50/5 era un predittore significativo anche per il test 6MWT. Nel complesso, i modelli presentavano un R^2 superiore a quello già descritto per le caratteristiche individuali generali. Risultati del tutto analoghi si ottenevano considerando insieme età, genere, BMI SDS, indice BI a 50 kHz e AF (dati non mostrati).

5.4 DISCUSSIONE

L'efficienza fisica è un importante indicatore dello stato di salute dell'individuo non solo nell'adulto e nell'anziano ma anche in età evolutiva. Numerosi studi condotti su bambini e adolescenti hanno infatti dimostrato la forte associazione tra efficienza fisica e un successivo ridotto rischio di malattie cardio-vascolari, metaboliche e cronico-degenerative (Ortega, 2008; Smith et al., 2014; Cattuzzo et al., 2016).

La letteratura propone numerosi test atti a misurare in età evolutiva la forza muscolare, l'efficienza cardio-respiratoria, la flessibilità, le abilità motorie ecc. (Fjørtoft et al., 2011; Ruiz et al., 2011; IOM, 2012; Plowman, 2014; Ramirez-Velez et al., 2016; Thivel et al., 2016), che in genere non sono utilizzati singolarmente, ma in differenti combinazioni fra loro (cioè in “batteria”, in inglese *fitness battery*).

I risultati dei test di efficienza fisica risultano influenzati da variabili come il genere (Tambalis et al., 2016), l'età cronologica e biologica (Lloyd et al., 2014), le caratteristiche antropometriche (Hrasky et al., 2015), aspetti di natura genetica (Pescatello et al., 2013), l'etnia (Araujo et al., 2010), l'ambiente (Ari et al., 2014). Da qui si comprende la necessità di disporre di valori di riferimento idonei, differenziati in base alla tipologia dei individui oggetto delle valutazioni.

L'inclusione di batterie di test nei sistemi di sorveglianza sanitaria da effettuare periodicamente nelle scuole rappresenta una strategia estremamente utile per monitorare l'efficienza fisica e quindi lo stato di salute di bambini e adolescenti.

Alla luce di quanto sin qui descritto, nel presente lavoro bambini e adolescenti di 6-13 anni, residenti nell'area della città metropolitana di Napoli, sono stati sottoposti a una batteria di test di semplice e rapida esecuzione che sono stati selezionati per la loro utilità nel descrivere diversi aspetti

dell'efficienza fisica in età evolutiva. L'obiettivo era mettere in relazione i risultati dei test, oltre che con le caratteristiche generali, con le variabili BIA tal quali dei soggetti e di indagare quindi le differenze delle varie componenti dell'efficienza fisica rispetto a parametri quali l'età, il genere e la composizione corporea, in bambini e adolescenti.

L'utilità di studi di questo tipo è legata alla necessità di individuare dei dati di riferimento relativi alle misure di efficienza fisica, vista l'importanza che test semplici, come quelli proposti, potrebbe rivestire nell'ambito della sorveglianza nutrizionale in età evolutiva.

Inoltre si fa presente che in letteratura non sono ad oggi presenti lavori che abbiano messo in relazione l'efficienza fisica, in qualsivoglia modo determinata, con le variabili BIA MF in bambini e adolescenti e sono scarsi gli studi che abbiano analizzato il rapporto tra le diverse componenti dell'efficienza fisica e la composizione corporea.

5.4.1 HGS

La misura dell'HGS è considerata fondamentale nella valutazione dell'efficienza fisica in età evolutiva come indice di forza muscolare complessiva (Ruiz et al., 2011; IOM, 2012; Plowman, 2014).

I risultati del presente studio, come atteso, evidenziano in primo luogo un HGS maggiore per l'emilato D rispetto al ND in accordo con quanto generalmente segnalato in letteratura (Sartorio et al., 2002; Carreira et al., 2010; Hogrel et al., 2012; Molenaar et al., 2010; Hepping et al., 2015). La differenza media era comunque modesta, pari +0,82 kg per l'emilato D, con tutti i valori compresi fra +5 e -5 kg.

Si è poi valutata la variabilità dell'HGS in relazione a genere ed età. L'HGS, definita come indice della complessiva forza di contrazione esercitata dai muscoli dell'avambraccio e della mano, è risultata significativamente

maggiore nel genere maschile rispetto a quello femminile, con una differenza superiore al 10% sull'intero campione. Montalcini et al. (2016) nel loro studio condotto su bambini di 9-10 anni hanno evidenziato quanto l'HGS sia influenzato dal genere anche prima della pubertà. I risultati sono in linea anche con i lavori di Molenaar et al. (2009) e di Cohen et al. (2010). Più recentemente Ploegmakers et al. (2013), in uno studio su 2241 bambini e adolescenti olandesi di 4-15 anni, hanno osservato valori di HGS più alti nei maschi rispetto alle femmine a tutte le età. In altri casi le differenze fra genere emergono soltanto nel secondo decennio di vita. Ad esempio, De Souza et al. (2014) osservarono un'assenza di differenze significative dell'HGS prima degli 11-12 anni di età, mentre Serrano et al. (2009), in un lavoro condotto su 2125 soggetti di 6-18 anni, trovarono una differenza marcata tra i due generi a partire dai 12 anni di età. Häger-Ross e Rösblad (2002), su 530 bambini/adolescenti di 4-16 anni, non individuarono differenze significative tra i generi fino a 10 anni di età. Complessivamente, secondo la review di Moura et al. (2008) l'HGS risultava maggiore nel genere maschile rispetto al genere femminile a partire dagli 11 anni di età. Nel nostro caso, le differenze in HGS fra generi erano sempre presenti, ma la significatività statistica si raggiungeva solo per la classe 8-9 anni, probabilmente a causa della ridotta numerosità del campione.

I nostri risultati hanno evidenziato un notevole aumento dell'HGS con l'età in accordo con quanto già osservato da vari autori (Cohen et al., 2010; Ploegmakers et al., 2013); ad esempio, considerando le classi 6-7 anni e 12-13 anni, si passava da 10,3 a 21,6 kg nei maschi e da 9,7 a 19,8 kg nelle femmine. L'aumento risultava progressivo e in sostanza del tutto simile nei due generi con valori rispettivamente di +1,96 kg/anno nei maschi e di +1,84 kg/anno nelle femmine. Ploegmakers et al. (2013), in 2241 bambini e adolescenti olandesi di 4-15 anni, hanno parimenti osservato un incremento dell'HGS simile nei due generi fino agli 11-12 anni, e successivamente un incremento più marcato nel genere maschile.

Il dato è spiegabile tenendo in considerazione il fatto che durante la crescita ha luogo un incremento sia della massa muscolare che della forza per sezione muscolare trasversale (Neu et al., 2002).

Fatte alcune considerazioni generali, l'obiettivo primario dello studio era comunque quello di valutare i fattori predittivi (o determinanti) dell'HGS in relazione alle caratteristiche generali dell'individuo e con un particolare interesse per le misure fornite dalla BIA.

Per l'età evolutiva la letteratura relativamente ai valori di riferimento per l'HGS, non è così ampia come per l'età adulta. Inoltre, la maggior parte degli autori non ha valutato la statura e il peso come variabili predittive (De Smet et al., 2001; Bear-Lehman et al., 2002; Butterfield et al., 2009), pur essendo evidenti le loro variazioni nel corso dell'accrescimento (Rauch et al., 2002; Häger-Ross et al., 2002). Più di recente, Ploegmakers et al. (2013) hanno identificato genere, età, statura e peso come predittori dell'HGS per ambedue gli emilati.

Alla luce di tale considerazione, nel presente lavoro sono state innanzitutto studiate le relazioni dell'HGS (emilato D, emilato ND e valore medio) con le caratteristiche individuali maggiori. Età, peso e statura (ma non il BMI SDS) sono risultate in ambedue i generi positivamente e fortemente correlate all'HGS (coefficiente di correlazione $>0,60$), confermando i risultati di precedenti lavori della letteratura (Jürimäe et al., 2009; Carreira et al., 2010; Wind et al., 2010; Hogrel et al., 2012; Ploegmakers et al., 2013). Il BMI come tale non è stato preso in considerazione perché le sue relazioni con l'eccesso ponderale si modificano continuamente durante la crescita. Un modello di regressione lineare multipla ha confermato che età e statura emergevano per ambedue i generi (e per entrambi gli emilati) come i più importanti fattori determinanti dell'HGS, con un contributo importante anche del peso corporeo (Tabella 5). Nel complesso, le equazioni che si sono ricavate presentavano una forte analogia con quelle ricavate da Ploegmakers et al. (2013) con

un'intercetta fortemente negativa e un aumento di circa 0,8 kg per ciascun anno d'età. L'interpretazione di tali risultati risulta complessa a causa delle evidenti variazioni di statura e peso che si hanno con l'aumentare dell'età e forse non è particolarmente significativa in termini metabolici. Essa comunque suggerisce la possibilità di elaborare nel futuro delle formule predittive dell'HGS che prendano in considerazione diversi predittori e che risultino più affidabili, come riferimento normativo, dei semplici percentili per età.

L'obiettivo centrale dello studio era quello di valutare le relazioni dell'HGS con la composizione corporea e, in particolare, con le variabili BIA tal quali. I dati della letteratura al riguardo non sono numerosi (e anche parziali). Sartorio et al. (2002) hanno evidenziato una forte relazione fra HGS e FFM (stimata con la BIA) in 278 bambini e adolescenti di entrambi i generi e d'età 5-15 anni. Jurimae et al. (2009) hanno evidenziato l'associazione fra HGS e massa magra della mano (non meglio definita). Più di recente, de Souza et al. (2014) hanno confermato che l'HGS risultava più strettamente correlata alla FFM che non al peso, alla statura (di poco) e al BMI.

Nel nostro caso, la FFM è stata stimata grazie all'equazione di Schaefer et al. (1994), che è una delle molte formule BIA predittive della composizione corporea che sono disponibili in letteratura. I dati ottenuti confermano che l'HGS risulta maggiormente associata alla FFM che non all'età, alla statura e al peso corporeo. In particolare, FFM ed età insieme danno conto del 74,6% e del 68,2% della variabilità dell'HGS rispettivamente nel genere maschile e femminile. Potrebbe essere d'interesse valutare in futuro, in modo comparativo, le relazioni fra HGS e stime della FFM ottenute con differenti equazioni predittive BIA.

Si sono anche prese in considerazione le variabili BIA tal quali, cioè per come sono direttamente misurate, a cominciare dall'indice BI, che è considerato un indicatore proxy dei fluidi corporei e della FFM. Si tratta di un approccio che trova sempre più interesse in nutrizione umana proprio perché

non richiede l'utilizzo di equazioni predittive. L'indice BI è risultato un predittore dell'HGS e la forza dell'associazione aumentava al crescere della frequenza. Questa osservazione ben risponde all'idea che a frequenze basse l'indice BI sia associato alla ECW e a frequenze più elevate alla TBW e alla FFM. Ed era proprio la FFM il predittore più logico e atteso dell'HGS.

I rapporti fra Z a frequenze elevate (ad esempio, 50, 100 e 250 kHz) e frequenze basse (ad esempio, 5 e 10 kHz) sono considerati degli indicatori del quoziente acqua extracellulare/acqua totale dell'organismo. In altre parole, aumentano in funzione sia di un'espansione dell'acqua extracellulare che di una riduzione percentuale dell'acqua intracellulare (cioè, della massa cellulare metabolicamente attiva). I risultati di questo studio indicano per la prima volta che esiste un'associazione inversa fra HGS ed IR, che risulta più stretta per il rapporto fra Z a 50 kHz e Z a 5 kHz. Per quanto riguarda l'AF (misurato a 50 kHz), considerato un indice di cellularità (quota della FFM da ascrivere alla BCM), la correlazione esiste ma è debole.

In una fase successiva, attraverso l'uso della regressione lineare multipla, si è cercato di meglio identificare i predittori BIA dell'HGS. Di fatto, per le frequenze di misura considerate (50-100-250 kHz), in aggiunta all'età, sia l'indice BI che l'IR erano in tutti i casi dei determinanti significativi dell'HGS. Da sottolineare, l' R^2 complessivo che si otteneva era chiaramente più elevato rispetto a quello che si osservava tenendo in conto le caratteristiche generali dell'individuo. Il risultato conferma che sia gli IR che l'AF possono essere considerati degli indicatori della qualità del muscolo e quindi dell'efficienza fisica, anche in età evolutiva.

5.4.2 Test di efficienza fisica

I test d'efficienza fisica contribuiscono a definire diverse componenti del benessere fisico dell'organismo quali l'efficienza cardio-respiratoria, l'efficienza muscolo-scheletrica e l'efficienza motoria.

Oltre al test HGS, sono molti i test utili in tal senso. Fra essi, anche per ragioni operative, sono di frequente utilizzati il SALTO 1 e il 6 MWT per valutare rispettivamente la forza esplosivo-elastica dei muscoli degli arti inferiori e l'efficienza cardio-respiratoria. Il test SALTO 5, invece, viene utilizzato per misurare le proprietà elastiche dei muscoli degli arti inferiori, la potenza esplosiva e la capacità di combinare movimenti consecutivi mentre il test SEDIA è utile principalmente per misurare la forza muscolare degli arti inferiori.

Il campione sperimentale (Tabella 10) era composto da 281 bambini di 8-13 anni, di cui 154 maschi (età $10,9 \pm 1,6$ anni) e 127 femmine (età $10,7 \pm 1,6$ anni). L'età media era più alta rispetto al campione che ha effettuato il test dell'HGS poiché non hanno partecipato al protocollo i bambini con età inferiore a 8 anni. I soggetti di genere femminile avevano un peso e una statura inferiori in media rispetto ai soggetti di genere maschile.

Per cominciare, i risultati dello studio hanno evidenziato delle differenze tra i generi nei test SALTO1 e SALTO 5. In particolare, per il SALTO 1, è stata riscontrata una differenza pari al 14% e per il SALTO 5 del 12%. Tali risultati sono in linea con quanto riportato in numerosi lavori della letteratura (fra i lavori più recenti, Castro-Pinero et al., 2009; Ortega et al., 2011; Chung et al. 2013; De Miguel-Etayo et al., 2014; Saint-Maurice et al., 2015; Ramirez-Velez et al., 2016; Tambalis et al., 2016; Latorre-Román et al., 2017; McKay et al., 2017), essenzialmente per il salto singolo in lungo da fermo. Ramirez-Velez et al. (2016) ad esempio, in uno studio condotto su 8034 soggetti colombiani di 9-18 anni di età per l'ottenimento di valori di riferimento per il test del salto in lungo, trovarono che le differenze tra i generi erano presenti a

tutte le età, aumentando dai 12 anni in poi. Alle stesse conclusioni sono giunti anche Chung et al. (2013) che hanno studiato le variazioni dei risultati del test durante la crescita in 12.712 bambini e adolescenti cinesi di 8-18 anni. Essi evidenziarono delle differenze tra i generi a tutte le età, osservando anche un loro incremento dopo i 12 anni d'età. Similmente e in accordo con la letteratura (Castro-Pinero et al., 2009; Ortega et al., 2011; Ramirez-Velez et al., 2016; Tambalis et al., 2016; Latorre-Román et al., 2017; McKay et al., 2017) si è osservato un costante aumento dei valori del SALTO 1 con l'età in ambedue i generi.

I lavori citati di fatto si concentravano sulla proposta di valori di riferimento, espressi come percentili, relativi a differenti test di efficienza fisica. Questo studio si è proposto invece di valutare quali siano i predittori del SALTO 1 in un intervallo d'età compreso fra 8 e 13 anni, argomento su cui in letteratura è difficile a tutt'oggi trovare riscontro. Di recente, in termini preliminari, Hraski et al. (2015) hanno associato i valori di SALTO 1 direttamente con la statura e inversamente con la massa lipidica, mentre Ramirez-Velez et al. (2016) hanno osservato delle deboli correlazioni con la statura e con il peso in entrambi i generi. I risultati presentati hanno dimostrato in primo luogo che il SALTO 1 correlava significativamente con l'età e la statura, e negativamente con il BMI SDS. Di fatto (Tabella 15), meno evidente nelle femmine, emergeva anche un'associazione con le variabili BIA (indici BI e IR). Utilizzando il modello della regressione multipla, è stato possibile procedere a una migliore definizione dei predittori del SALTO 1, che fra le caratteristiche generali erano identificabili nel genere, nell'età e nel BMI SDS. Certamente d'interesse è l'osservazione relativa alle variabili BIA. In primo luogo, esse risultavano predittori del SALTO 1 più validi delle caratteristiche individuali generali, almeno sulla base dell' R^2 del modello statistico. In secondo luogo, la presenza come predittori sia dell'IB che dell'IR (soprattutto per il rapporto $Z\ 50\ \text{kHz}/Z\ 5\ \text{kHz}$) suggerisce che effettivamente tali misure si

comportano come indicatori proxy sia della quantità che della qualità della massa magra e del muscolo in particolare.

In parallelo con il SALTO 1, si è anche proceduto alla misura del SALTO 5, sempre con partenza da fermo. In termini generali, misure relative a salti consecutivi sono considerate utili per la stima delle proprietà elastiche del muscolo, della potenza esplosiva e dell'abilità a combinare movimenti consecutivi. Nel nostro caso, le correlazioni con le variabili individuali generali risultavano più forti rispetto a quelle osservate con il SALTO 1, e lo stesso avveniva rispetto alle variabili BIA. Egualmente il modello della regressione multipla ($R^2=0,474$) identificava come fattori determinanti comuni genere, età, BMI-SDS e ancora indice BI e IR (come esempio, si sono considerati quelli a 50 kHz).

In relazione al test SEDIA, Bovet et al. (2007) in un campione di 4000 soggetti di 12-15 anni hanno evidenziato risultati migliori nel genere maschile. Ancor più di recente, McKay et al. (2017) non hanno osservato differenze fra generi fino a 19 anni d'età). Il presente lavoro non mostra alcuna differenza fra generi e una scarsa associazione fra i valori del test SEDIA e le variabili considerate. La regressione multipla conferma una debole relazione negativa con il peso (Tabella 14).

Infine è stato effettuato il test del cammino dei 6 minuti che è un test funzionale che, almeno nella popolazione generale e nei suoi segmenti, rappresenta uno sforzo submassimale e presumibilmente meglio riflette le attività motorie in cui è coinvolta la gran parte della popolazione (Cacau et al., 2016; Mylius et al., 2016). In questo caso numerosi studi hanno prodotto per l'età evolutiva delle equazioni per la stima della distanza attesa sulla base di età, statura e peso, e anche della frequenza cardiaca e del livello di attività fisica (Lammers et al., 2008; Ulrich et al., 2013; Cacau et al., 2016; Mylius et al., 2016). Per quanto interessa le differenze fra generi, Ulrich et al. (2013) nel loro studio su 496 bambini e adolescenti svizzeri di 5-17 anni riscontrarono delle differenze tra i risultati del 6MWT sul campione totale ma osservarono che le differenze significative tra i generi erano

rilevabili solo nei soggetti con più di 12 anni. Tale risultato è in linea con quello ottenuto nel presente lavoro, in cui i soggetti avevano tutti un'età inferiore a 14 anni. Peraltro, l'analisi dei dati da noi raccolti ha messo in evidenza le correlazioni del 6MWT con le caratteristiche individuali (soprattutto età e statura), così come con le variabili BIA. L'analisi multivariata indicava una forte relazione inversa fra il 6MWT e la sola variabile BMI SDS. Se quest'ultima non era inclusa nel modello, così come risulta in letteratura (Cacau et al., 2016; Mylius et al., 2016), emergevano come fattori determinanti, insieme, l'età e la statura con segno positivo e il peso con segno negativo. A differenza di quanto osservato con HGS, SALTO 1 e SALTO 5, la regressione multipla non identificava come fattore predittivo l'indice BI, ma il solo IR 50/5. Per un aumento di quest'ultimo IR pari a una DS (0,012), è possibile stimare una diminuzione della distanza percorsa pari a circa 9 m.

5.5 CONCLUSIONI

I risultati del presente lavoro hanno evidenziato interessanti opportunità per l'impiego del test dell'HGS e dei test SEDIA, SALTO 1, SALTO 5 e 6MWT ai fini della valutazione dell'efficienza fisica di bambini e adolescenti.

Considerate la semplicità e la relativa velocità di esecuzione, i test scelti si sono confermati particolarmente idonei a rientrare all'interno di batterie da effettuare periodicamente nelle scuole all'interno di programmi di sorveglianza nutrizionale al fine di monitorare l'efficienza fisica e quindi la salute di bambini e adolescenti.

Sono stati illustrate le relazioni strette esistenti tra l'HGS e le caratteristiche generali del soggetto quali l'età, il peso, la statura e, in misura minore, il BMI SDS, con piccole differenze riscontrate nei due generi. L'HGS tuttavia risultava maggiormente associata alla FFM mentre, per quanto riguarda le variabili BIA tal quali, sia l'indice BI che l'IR si sono rilevati dei determinanti significativi del test.

Le equazioni di regressione analizzate hanno evidenziato come la maturazione del muscolo durante l'età evolutiva influisca sulla variazione dell'HGS e sui risultati dei test.

Per quanto riguarda le variabili BIA, sia l'indice BI che l'IR (soprattutto per il rapporto z 50 kHz/ z 5 kHz) si sono rilevati dei predittori, oltre che dell'HGS, anche per il SALTO 1 e per il SALTO 5, confermandosi indicatori proxy sia della quantità che della qualità della massa magra e del muscolo in particolare.

Potrebbe essere d'interesse valutare in futuro, in modo comparativo, le relazioni fra l'HGS e stime della FFM ottenute con differenti equazioni predittive BIA.

Infine, sarebbe auspicabile incrementare la numerosità del campione ai fini dell'ottenimento di valori di riferimento relativi alle misure di efficienza

fisica, vista l'importanza che test semplici, come quelli proposti, potrebbe rivestire nell'ambito della sorveglianza nutrizionale in età evolutiva.

5.6 TABELLE

TABELLA 1

Caratteristiche generali del campione che ha partecipato al protocollo sperimentale relativo alla forza di presa della mano (HGS).

		GENERE MASCHILE (n. 211)		GENERE FEMMINILE (n. 186)		p
		Media	DS	Media	DS	
Età	anni	9,9	2,2	9,5	2,1	<0,10
Statura	cm	140,7	12,8	138,2	13,4	<0,10
Peso	kg	41,1	13,3	38,4	12,8	<0,05
BMI	kg/m ²	20,4	4,5	19,6	4,2	<0,10
BMI SDS	DS	0,49	1,18	0,28	1,20	<0,10

DS= deviazione standard;

BMI=body mass index;

BMI SDS in multipli della deviazione std;

BMI SDS=scarto fra BMI misurato rispetto e valori (media) di riferimento per genere ed età.

TABELLA 2

Forza di presa della mano (HGS) relativa all'emilato dominante, all'emilato non dominante e alla media dei due emilati nei bambini e negli adolescenti che hanno preso parte allo studio (211 maschi e 186 femmine).

		HGS (kg)				
		GENERE MASCHILE		GENERE FEMMINILE		
		media	DS	media	DS	p
Emilato dominante	kg	15,6	5,6	14,0	5,1	<0,005
Emilato non dominante	kg	14,7	5,0	13,2	4,7	<0,005
Media dei due emilati	kg	15,1	5,2	13,6	4,9	<0,005

DS= deviazione standard

D=emilato dominante; ND=emilato non-dominante; M=media dei due emilati

TABELLA 3

Correlazione lineare semplice delle misure di forza di presa della mano (HGS) con le caratteristiche generali e le variabili BIA relative all'intero organismo nei 211 soggetti di genere maschile che hanno partecipato allo studio.

		HGS D	HGS ND	HGS M
Età	Correlazione di Pearson	0,778	0,736	0,773
	p	<0,001	<0,001	<0,001
Statura	Correlazione di Pearson	0,806	0,769	0,804
	p	<0,001	<0,001	<0,001
Peso	Correlazione di Pearson	0,650	0,612	0,644
	p	<0,001	<0,001	<0,001
BMI	Correlazione di Pearson	0,294	0,278	0,292
	p	<0,001	<0,001	<0,001
BMI SDS	Correlazione di Pearson	0,016	0,028	0,022
	p	0,817	0,690	0,751
Indice BI 5 kHz	Correlazione di Pearson	0,827	0,784	0,823
	p	<0,001	<0,001	<0,001
Indice BI 10 kHz	Correlazione di Pearson	0,830	0,786	0,825
	p	<0,001	<0,001	<0,001
Indice BI 50 kHz	Correlazione di Pearson	0,838	0,793	0,833
	p	<0,001	<0,001	<0,001
Indice BI 100 kHz	Correlazione di Pearson	0,840	0,794	0,834
	p	<0,001	<0,001	<0,001
Indice BI 250 kHz	Correlazione di Pearson	0,842	0,796	0,836
	p	<0,001	<0,001	<0,001
IR Z 50 kHz/Z 5 kHz	Correlazione di Pearson	-0,705	-0,661	-0,698
	p	<0,001	<0,001	<0,001
IR Z 100 kHz/Z 5 kHz	Correlazione di Pearson	-0,636	-0,586	-0,624
	p	<0,001	<0,001	<0,001
IR Z 250 kHz/Z 5 kHz	Correlazione di Pearson	-0,531	-0,482	-0,518
	p	<0,001	<0,001	<0,001
AF 50 kHz	Correlazione di Pearson	0,477	0,429	0,463
	p	<0,001	<0,001	<0,001

Indice BI=indice bioimpedenziometrico; IR=rapporto multifrequenza;

HGS=forza di presa della mano;

D=emilato dominante; ND=emilato non dominante; M=media dei due emilati

TABELLA 4

Correlazione lineare semplice delle misure di forza di presa della mano (HGS) con le caratteristiche generali e le variabili BIA relative all'intero organismo nei 186 soggetti di genere femminile che hanno partecipato allo studio.

		HGS D	HGS ND	HGS M
Età	Correlazione di Pearson	0,743	0,744	0,755
	p	<0,001	<0,001	<0,001
Statura	Correlazione di Pearson	0,785	0,778	0,793
	p	<0,001	<0,001	<0,001
Peso	Correlazione di Pearson	0,709	0,675	0,703
	p	<0,001	<0,001	<0,001
BMI	Correlazione di Pearson	0,408	0,365	0,393
	p	<0,001	<0,001	<0,001
BMI SDS	Correlazione di Pearson	0,179	0,142	0,163
	p	0,015	0,053	0,026
Indice BI 5 kHz	Correlazione di Pearson	0,785	0,775	0,792
	p	<0,001	<0,001	<0,001
Indice BI 10 kHz	Correlazione di Pearson	0,787	0,778	0,794
	p	<0,001	<0,001	<0,001
Indice BI 50 kHz	Correlazione di Pearson	0,797	0,788	0,804
	p	<0,001	<0,001	<0,001
Indice BI 100 kHz	Correlazione di Pearson	0,798	0,790	0,806
	p	<0,001	<0,001	<0,001
Indice BI 250 kHz	Correlazione di Pearson	0,801	0,793	0,809
	p	<0,001	<0,001	<0,001
IR Z 50 kHz/Z 5 kHz	Correlazione di Pearson	-0,643	-0,657	-0,660
	p	<0,001	<0,001	<0,001
IR Z 100 kHz/Z 5 kHz	Correlazione di Pearson	-0,602	-0,617	-0,619
	p	<0,001	<0,001	<0,001
IR Z 250 kHz/Z 5 kHz	Correlazione di Pearson	-0,530	-0,547	-0,546
	p	<0,001	<0,001	<0,001
AF 50 kHz	Correlazione di Pearson	0,471	0,476	0,480
	p	<0,001	<0,001	<0,001

Indice BI=indice bioimpedenziometrico; IR=rapporto multifrequenza;

HGS=forza di presa della mano;

D=emilato dominante; ND=emilato non dominante; M=media del due emilati

TABELLA 5

Regressione lineare multipla con le caratteristiche generali dei soggetti come predittori della forza di presa della mano (HGS) in 211 maschi e 186 femmine.

	Intercetta	Età	Statura	Peso	BMI SDS	R ²	SEE
EMILATO DOMINANTE							
MASCHI	-18,4 (4,1)	+0,865 (0,226)	+0,159 (0,046)	+0,070 (0,025)	-	0,68	3,11
FEMMINE	-12,7 (3,9)	+0,799 (0,225)	+0,105 (0,044)	+0,119 (0,029)	-	0,66	3,03
EMILATO NON DOMINANTE							
MASCHI	-19,6 (3,6)	+0,779 (0,238)	+0,187 (0,040)	-	+0,505 (0,198)	0,61	3,14
FEMMINE	-13,3 (3,8)	+0,791 (0,221)	+0,114 (0,044)	+0,086 (0,028)	-	0,64	2,98

HGS espresso in kg, età in anni, statura in cm, peso in kg e BMI SDS in multipli della deviazione std.

BMI SDS=scarto fra BMI misurato rispetto a valori (mediane) di riferimento per genere ed età.

R²=R quadro corretto; SEE=errore standard della stima (in parentesi).

TABELLA 6

Regressione lineare multipla con le variabili BIA tal quali (Z a 50 kHz e Z a 5 kHz) come predittori della forza di presa della mano (HGS) in 211 maschi e 186 femmine.

	Intercetta	Età	Indice BI 50 kHz	IR Z 50 kHz/Z 5 kHz	R ²	SEE
EMILATO DOMINANTE						
MASCHI	82,3 (18,3)	+0,746 (0,130)	+0,313 (0,038)	-92,13 (19,37)	0,77	2,61
FEMMINE	65,7 (20,6)	+0,658 (0,158)	+0,350 (0,045)	-74,19 (21,69)	0,70	2,83
EMILATO NON DOMINANTE						
MASCHI	68,6 (19,7)	+ 0,649 (0,140)	+0,278 (0,041)	-75,76 (20,88)	0,69	2,81
FEMMINE	73,0 (19,7)	+ 0,642 (0,152)	+0,313 (0,043)	-81,70 (20,79)	0,70	2,71

Età in anni; indice BI=indice bioimpedenziometrico in ohm; IR=rapporto multifrequenza.
R²=R quadro corretto; SEE: errore standard della stima (in parentesi).

TABELLA 7

Regressione lineare multipla con le variabili BIA tal quali (Z a 100 kHz e Z a 5 kHz) come predittori della forza di presa della mano (HGS) in 211 maschi e 186 femmine.

	Intercetta	Età	Indice BI 100 kHz	IR Z 100 kHz/Z 5 kHz	R ²	SEE
EMILATO DOMINANTE						
MASCHI	55,9 (13,6)	+0,811 (0,128)	+0,305 (0,036)	-67,61 (15,17)	0,77	2,61
FEMMINE	44,7 (15,7)	+0,700 (0,155)	+0,336 (0,043)	-54,48 (17,39)	0,70	2,84
EMILATO NON DOMINANTE						
MASCHI	42,1 (14,7)	+0,708 (0,139)	+0,274 (0,039)	-50,30 (16,45)	0,68	2,83
FEMMINE	50,8 (15,1)	+0,686 (0,149)	+0,301 (0,041)	-61,01 (16,67)	0,70	2,72

Età in anni; Indice BI=indice bioimpedenziometrico in ohm; IR=rapporto multifrequenza.
R²=R quadro corretto; SEE: errore standard della stima (in parentesi).

TABELLA 8

Regressione lineare multipla con le variabili BIA tal quali (Z a 250 kHz e a 5 kHz) come predittori della forza di presa della mano (HGS) in 211 maschi e 186 femmine.

	Intercetta	Età	Indice BI 250 kHz	IR Z 250 kHz/Z 5 kHz	R ²	SEE
EMILATO DOMINANTE						
MASCHI	39,3 (10,8)	+0,830 (0,128)	+0,300 (0,032)	-53,93 (13,23)	0,77	2,61
FEMMINE	30,9 (12,7)	+0,704 (0,156)	+0,325 (0,039)	-42,68 (15,21)	0,70	2,85
EMILATO NON DOMINANTE						
MASCHI	28,5 (11,7)	+0,723 (0,139)	+0,268 (0,034)	-38,54 (14,34)	0,68	2,84
FEMMINE	36,0 (12,2)	+0,690 (0,150)	+0,294 (0,037)	-48,73 (14,58)	0,69	2,73

Età in anni; Indice BI=indice bioimpedenziometrico in ohm; IR=rapporto multifrequenza.
R²=R quadro corretto; SEE: errore standard della stima (in parentesi).

TABELLA 9

Regressione lineare multipla con indice bioimpedenziometrico e angolo di fase (misurati a 50 kHz) come predittori della forza di presa della mano (HGS) in 211 maschi e 186 femmine.

	Intercetta	Età	Indice BI 50 kHz	AF 50 kHz	R ²	SEE
EMILATO DOMINANTE						
MASCHI	-12,2 (1,9)	+0,895 (0,130)	+0,333 (0,037)	+1,742 (0,391)	0,77	2,63
FEMMINE	-10,6 (2,0)	+0,755 (0,152)	+0,365 (0,044)	+1,546 (0,455)	0,70	2,83
EMILATO NON DOMINANTE						
MASCHI	-8,3 (2,0)	+0,766 (0,141)	+0,301 (0,040)	+1,244 (0,423)	0,68	2,84
FEMMINE	-10,5 (1,9)	+0,756 (0,146)	+0,333 (0,042)	+1,560 (0,439)	0,69	2,74

Indice BI=indice bioimpedenziometrico; AF=angolo di fase

R²: coefficiente di regressione; SEE: errore standard della stima.

TABELLA 10

Caratteristiche generali del campione sottoposto ai test di efficienza fisica SEDIA, SALTO 1, SALTO 5 e 6MWT costituito da 281 bambini/adolescenti.

		GENERE MASCHILE (n. 154)		GENERE FEMMINILE (n. 127)		p
		media	DS	media	DS	
Età	Anni	10,9	1,6	10,7	1,6	NS
Statura	cm	145,9	10,5	145,4	10,1	NS
Peso	kg	45,2	12,9	43,9	11,8	NS
BMI	kg/m ²	21,0	4,7	20,5	4,2	NS
BMI SDS	DS	0,43	1,22	0,31	1,19	NS

DS= deviazione standard;

BMI=body mass index;

BMI SDS in multipli della deviazione std;

BMI SDS=scarto fra BMI misurato rispetto e valori (media) di riferimento per genere ed età.

TABELLA 11

Risultati dei test di efficienza fisica SEDIA, SALTO 1, SALTO 5 e 6 MWT, distinti per genere.

	GENERE MASCHILE (n=211)		GENERE FEMMINILE (n=186)		p
	media	DS	media	DS	
SEDIA (n. ripetizioni)	23,5	5,1	23,4	5,1	NS
SALTO 1 (cm)	121	26	106	22	<0,001
SALTO 5 (cm)	649	115	580	91	<0,001
6 MWT (m/min)	614	77	600	74	<0,10

DS: deviazione standard.

SEDIA= Test della sedia; SALTO 1= Test del salto in lungo da fermo; SALTO 5= Test dei 5 salti da fermo; 6MWT= Test della camminata dei 6 minuti.

TABELLA 12

Correlazione lineare semplice dei test di efficienza fisica (SEDIA, SALTO 1, SALTO 5 e 6 MWT) con le caratteristiche generali e le variabili BIA dei soggetti di genere maschile oggetto di studio.

Genere maschile (n.154)		SEDIA	SALTO 1	SALTO 5	6 MWT
Età	Correlazione di Pearson	-0,103	0,479	0,535	0,674
	p	NS	<0,001	<0,001	<0,001
Statura	Correlazione di Pearson	-0,156	0,427	0,476	0,494
	p	<0,05	<0,001	<0,001	<0,001
Peso	Correlazione di Pearson	-0,216	-0,046	-0,006	0,044
	p	<0,01	0,573	0,942	0,591
BMI	Correlazione di Pearson	-0,179	-0,316	-0,298	-0,246
	p	<0,05	<0,001	<0,001	0,002
BMI SDS	Correlazione di Pearson	-0,123	-0,385	-0,386	-0,371
	p	NS	<0,001	<0,001	<0,001
Indice BI 5	Correlazione di Pearson	-0,096	0,389	0,416	0,362
	p	NS	<0,001	<0,001	<0,001
Indice BI 10	Correlazione di Pearson	-0,096	0,391	0,417	0,362
	p	NS	<0,001	<0,001	<0,001
Indice BI 50	Correlazione di Pearson	-0,097	0,400	0,422	0,366
	p	NS	<0,001	<0,001	<0,001
Indice BI 100	Correlazione di Pearson	-0,097	0,403	0,423	0,366
	p	NS	<0,001	<0,001	<0,001
Indice BI 250	Correlazione di Pearson	-0,095	0,409	0,425	0,370
	p	NS	<0,001	<0,001	<0,001
IR Z 50 kHz/Z 5 kHz	Correlazione di Pearson	0,096	-0,376	-0,304	-0,297
	p	NS	<0,001	<0,001	<0,001
IR Z 100kHz/Z 5 kHz	Correlazione di Pearson	0,068	-0,350	-0,264	-0,242
	p	NS	<0,001	<0,001	<0,002
IR Z 250 kHz/Z 5 kHz	Correlazione di Pearson	0,036	-0,350	-0,231	-0,239
	p	NS	<0,001	0,005	<0,005
AF 50 Khz	Correlazione di Pearson	-0,009	0,375	0,252	0,201
	p	NS	<0,001	<0,002	<0,01

SEDIA= Test della sedia; SALTO 1= Test del salto in lungo da fermo; SALTO 5= Test dei 5 salti da fermo; 6MWT= Test della camminata dei 6 minuti.

TABELLA 13

Indici di correlazione dei test di efficienza fisica (SEDIA, SALTO 1, SALTO 5 e 6 MWT) con le caratteristiche generali e le variabili BIA dei soggetti di genere femminile oggetto di studio.

		SEDIA	SALTO 1	SALTO 5	6 MWT
Età	Correlazione di Pearson	-0,213	0,342	0,450	0,717
	<i>p</i>	<0,02	<0,001	<0,001	<0,001
Statura	Correlazione di Pearson	-0,301	0,176	0,313	0,623
	<i>p</i>	<0,001	<0,05	<0,001	<0,001
Peso	Correlazione di Pearson	-0,282	-0,057	-0,066	0,194
	<i>p</i>	<0,001	NS	NS	<0,05
BMI	Correlazione di Pearson	-0,196	-0,195	-0,295	-0,128
	<i>p</i>	<0,05	<0,05	<0,001	<0,1
BMI SDS	Correlazione di Pearson	-0,120	-0,241	-0,396	-0,306
	<i>p</i>	<0,2	<0,01	<0,001	<0,001
Indice BI 5	Correlazione di Pearson	-0,200	0,163	0,201	0,446
	<i>p</i>	<0,02	<0,10	<0,02	<0,001
Indice BI 10	Correlazione di Pearson	-0,202	0,162	0,201	0,448
	<i>p</i>	<0,02	<0,10	<0,02	<0,001
Indice BI 50	Correlazione di Pearson	-0,204	0,169	0,211	0,456
	<i>p</i>	<0,02	<0,10	0,02	<0,001
Indice BI 100	Correlazione di Pearson	-0,203	0,171	0,214	<0,57
	<i>p</i>	<0,02	<0,05	<0,02	<0,001
Indice BI 250	Correlazione di Pearson	-0,203	0,174	0,219	0,462
	<i>p</i>	<0,02	<0,05	<0,01	<0,001
IR 50/5	Correlazione di Pearson	0,147	-0,163	-0,234	-0,362
	<i>p</i>	<0,10	<0,10	<0,01	<0,001
IR 100/5	Correlazione di Pearson	0,112	-0,167	-0,229	-0,329
	<i>p</i>	NS	<0,10	<0,01	<0,001
IR 250/5	Correlazione di Pearson	0,088	-0,179	-0,239	-0,325
	<i>p</i>	NS	<0,05	<0,01	<0,001
AF 50	Correlazione di Pearson	-0,003	0,180	0,254	0,244
	<i>p</i>	NS	<0,04	<0,005	<0,01

SEDIA= Test della sedia; SALTO 1= Test del salto in lungo da fermo; SALTO 5= Test dei 5 salti da fermo; 6MWT= Test della camminata dei 6 minuti.

TABELLA 14

Caratteristiche individuali generali come predittori dei test di efficienza fisica SEDIA, SALTO 1, SALTO 5 e 6MWT nel campione di bambini/adolescenti che hanno partecipato allo studio.

	Intercetta	Genere	Età	Peso	BMI SDS	R ²	SEE
SEDIA	+27,93 (1,103)	-	-	-0,100 (0,024)	-	0,056	4,9
SALTO 1	+46,7 (9,2)	+14,4 (2,6)	+5,7 (0,833)	--	-4,9 (1,1)	0,295	21,2
SALTO 5	-136 (91)	+67 (10)	+24 (5,4)	-3,7 (0,5)	-	0,427	83
6 MWT	+271 (23)	-	+32 (2)	-	-12 (3)	0,515	53

SEDIA= Test della sedia; SALTO 1= Test del salto in lungo da fermo; SALTO 5= Test dei 5 salti da fermo; 6MWT= Test della camminata dei 6 minuti.

R²: coefficiente di regressione; SEE: errore standard della stima.

TABELLA 15

Indice bioimpedenziometrico a 50 kHz e rapporto multifrequenza Z 50 kHz/Z 5 kHz come predittori dei test di efficienza fisica SEDIA, SALTO 1, SALTO 5 e 6 MWT nel campione di bambini/adolescenti che hanno partecipato allo studio.

	Intercetta	Genere	Età	BMI SDS	Indice BI 50 kHz	IR Z 50 kHz/ Z 5 kHz	R ²	SEE
SEDIA	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
SALTO 1	458 (112)	+12,8 (2,4)	NS	-9,2 (1,0)	+1,09 (0,20)	-4,2 (1,2)	0,367	20,1
SALTO 5	1808 (466)	+59 (10)	+12,5 (4,7)	-41,7 (5,0)	+4,50 (1,04)	-15,9 (4,9)	0,474	80
6 MWT	971 (298)	NS	+28,6 (2,4)	-14,6 (2,8)	NS	-7,4 (3,2)	0,523	52

SEDIA= Test della sedia; SALTO 1= Test del salto in lungo da fermo; SALTO 5= Test dei 5 salti da fermo; 6MWT= Test della camminata dei 6 minuti.

NR=non riportato perché il modello non riconosce come predittore alcuna variabile BIA.

IR Z 50 kHz/Z 5 kHz in termini percentuali, cioè il valore del rapporto moltiplicato per 100.

6. STUDIO 3 - Composizione corporea ed efficienza fisica in bambini e adolescenti sovrappeso e obesi.

6.1 Premessa e obiettivi specifici

L'incremento di sovrappeso ed obesità in età evolutiva rappresenta un problema di sanità pubblica sia a livello nazionale che internazionale (WHO, 2000). Tra i fattori obesogenici associati all'eccesso ponderale nei bambini e negli adolescenti vi sono in prima istanza una dieta inadeguata, a base di alimenti a elevata densità energetica, e un basso livello di attività fisica.

La valutazione dello stato nutrizionale attraverso un'efficace analisi della composizione corporea ha una notevole importanza sia in termini diagnostici che d'intervento. Inoltre, è opportuno monitorare l'efficienza fisica fin dai primi due decenni di vita essendo essa strettamente correlata allo stato di salute generale e rivestendo un ruolo prominente nelle strategie di prevenzione e di correzione dell'eccesso ponderale (Bryant et al., 2014).

Alla luce di ciò, nel presente lavoro, sono state valutate la composizione corporea e l'efficienza fisica in bambini/adolescenti in sovrappeso od obesi al fine di:

- valutare l'utilità dell'impiego della bioimpedenziometria (BIA) per studiare la composizione corporea;
- studiare l'impiego di alcuni test per valutare l'efficienza fisica;
- studiare le relazioni di composizione corporea e variabili BIA tal quali con i test di efficienza fisica;
- valutare l'applicabilità degli strumenti d'indagine utilizzati nel presente studio nell'ambito della sorveglianza nutrizionale in età evolutiva.

6.2 INDIVIDUI E METODI

Il campione oggetto del presente lavoro era costituito da un totale di 277 individui, di cui 124 di genere femminile e 153 di genere maschile. I soggetti erano pazienti afferenti consecutivamente presso l'ambulatorio di Auxo-Endocrinologia e Centro di obesità infantile dell'Ospedale SS. Annunziata di Napoli.

I criteri di inclusione per la partecipazione allo studio erano:

- età compresa tra 8-14 anni;
- presenza di sovrappeso e di obesità, diagnosticati secondo Cacciari et al. (2006);
- consenso informato allo studio.

I criteri d'esclusione erano:

- presenza di disturbi dell'accrescimento;
- presenza di patologie endocrine;
- presenza di altre patologie organiche.

I dati raccolti sono stati utilizzati secondo la normativa vigente in termini di privacy; il codice per l'identificazione del singolo partecipante non era direttamente interpretabile dal soggetto stesso o da estranei. Tutti i risultati sono stati informatizzati ed organizzati su ambiente Excel ed SPSS.

6.2.1 Protocollo sperimentale

Le misurazioni strumentali sono state effettuate in un'unica sessione. Le valutazioni eseguite miravano a rilevare le misure antropometriche e bioimpedenziometriche secondo il protocollo sperimentale descritto nel capitolo 3 della presente tesi. Per il presente lavoro sono state prese in considerazione le seguenti variabili:

- caratteristiche generali: genere, età, statura e peso;
- caratteristiche antropometriche aggiuntive: circonferenza vita, lunghezza arti superiori e arti inferiori;
- variabili BIA: impedenza (Z), indice bioimpedenziometrico (indice BI) e angolo di fase (AF) alla frequenza di 50 kHz;
- composizione corporea: massa magra alipidica (FFM) e massa lipidica (FM);
- efficienza fisica valutata con i test della forza di presa della mano (HGS), della sedia (SEDIA), del salto singolo (SALTO 1), dei cinque salti (SALTO 5) e della camminata dei 6 minuti (6MW) condotti secondo quanto descritto nel Capitolo 3.

6.2.2 Statistica

L'analisi statistica è stata condotta con il programma SPSS versione 20 per Windows. Nella parte descrittiva i risultati sono stati espressi come media e deviazione standard (DS). Le differenze fra i generi sono state analizzate con l'analisi della varianza (ANOVA). Lo studio delle relazioni fra variabili è stato effettuato con la correlazione lineare semplice e con la regressione lineare multipla. Un livello $p < 0,05$ è stato scelto come soglia per la significatività statistica.

6.3 RISULTATI

6.3.1 Caratteristiche generali del campione

Il campione che ha preso parte allo studio era costituito da 277 individui, 153 di genere maschile e 124 di genere femminile. Le caratteristiche generali sono riassunte in Tabella 1. Il valore medio dell'età era pari a $10,8 \pm 1,8$ anni per i maschi e a $10,5 \pm 1,9$ anni per le femmine; la statura e il peso erano leggermente superiori nei maschi, rispettivamente del 2% e del 5% rispetto alle femmine, mentre il BMI SDS risultava pari rispettivamente a $+2,1 \pm 0,4$ e a $+2,1 \pm 0,5$.

Nella Tabella 2 è riportata la distribuzione percentuale dei bambini/adolescenti per le sette classi d'età prese in esame, divisi per genere; esse sono rappresentate abbastanza equamente nelle diverse età, con una percentuale di soggetti complessivamente minore nel primo decennio d'età (maschi 34,6% e femmine 46,8% del totale).

La CV era di $95,7 \pm 10,9$ cm nelle femmine e di $96,8 \pm 10,8$ cm nei maschi ($p=NS$). Relativamente al rapporto CV/H la distribuzione risultava asimmetrica con valori in entrambi i generi sempre $>0,5$. Nello specifico, nei maschi il rapporto CV/H era pari a $0,65 \pm 0,05$ e nelle femmine a $0,66 \pm 0,06$ (Tabella 3). In Figura 1 è illustrata la distribuzione del rapporto CV/H dei bambini/adolescenti che hanno partecipato allo studio. La percentuale maggiore dei soggetti mostrava valori compresi tra 0,60 e 0,70, senza sostanziali diversità tra maschi e femmine.

Il grafico riportato in Figura 2 riporta la distribuzione dei soggetti relativa al BMI SDS, divisi per genere. Il 62,7% dei soggetti di genere maschile e il 54,8% di quelli di genere femminile mostravano valori del BMI SDS compresi tra 1,75 e 2,50.

6.3.2 Composizione corporea

Come riassunto in Tabella 3, la FFM era maggiore di circa il 7% ($p<0,01$) nel genere maschile ($32,2\pm6,6$ kg) rispetto al genere femminile ($30,1\pm5,6$ kg), mentre non esistevano differenze significative per la FM.

Nella Figura 3 è rappresentata la relazione fra percentuale di FM e BMI SDS in entrambi i generi; si osservava un rapporto di proporzionalità diretta in entrambi i generi. Al fine di studiare le relazioni della FM stimata con il BMI SDS calcolato e l'età, è stata utilizzata la regressione lineare multipla, con cui è stato possibile ricavare la seguente equazione (errori standard in parentesi):

$$\text{FM} = -30,5 + 2,69 \times \text{Età} + 15,6 \times \text{BMI SDS} \quad R^2=0,798 \quad \text{SEE}=4,451$$

(1,9) (0,15) (0,6)

6.3.3 Variabili BIA come tali

I valori di Z (Tabella 4) per l'emilato D erano pari a 612 ± 68 ohm nelle femmine e a 585 ± 70 ohm nei maschi, mostrando pari al 5% ($p<0,005$). Le misure relative all'emilato ND hanno mostrato valori di Z pari a 615 ± 69 ohm nelle femmine e 590 ± 69 ohm nei maschi, con una differenza tra i generi del 4% circa ($p<0,005$).

Per quanto riguarda i dati relativi agli arti superiori, le differenze tra i due generi erano pari al 5% per l'emilato D ($p<0,005$) e al 3% per l'emilato ND ($p<0,05$), risultando i valori delle femmine maggiori rispetto a quelli dei maschi. La Z degli arti inferiori nelle bambine/adolescenti invece era del 6% maggiore rispetto ai maschi sia per l'emilato D che per quello ND ($p<0,005$). All'interno dello stesso genere, le differenze di Z tra i due emilati risultavano inferiori all'1% sia per gli arti superiori che per gli arti inferiori.

Come riassunto nella Tabella 5 l'indice BI per l'intero organismo era significativamente maggiore per il genere maschile, con un valore medio di $38,0 \pm 8,7 \text{ cm}^2/\text{ohm}$ vs. $35,1 \pm 7,2 \text{ cm}^2/\text{ohm}$ per il genere femminile ($p < 0,01$). Valori in media più elevati erano presenti nei maschi anche per gli arti superiori e per gli arti inferiori, ma in quest'ultimo caso le differenze non risultavano significative. In particolare, la differenza era pari al 10% circa per entrambi gli arti superiori. Relativamente agli arti inferiori, i valori sono risultati maggiori nei maschi rispetto alle femmine di circa il 4% per entrambi gli emilati.

È stato costruito un modello di regressione lineare multipla con lo scopo di individuare i predittori dell'indice BI. Come è possibile desumere dalla Tabella 6, come predittori positivi dell'indice BI per l'intero organismo sono stati individuati il genere e il peso e come predittore negativo il BMI SDS, con un complessivo R^2 pari a 0,79. Per i valori dell'indice BI relativi agli arti superiori ed inferiori dei due emilati, i predittori risultavano costantemente il peso e il BMI SDS, il primo positivo e il secondo negativo. Pur inclusa nel modello, l'età non era in nessun caso riconosciuta come un fattore determinante dell'indice BI.

L'AF non mostrava differenze significative fra i generi né per l'intero organismo né per gli arti superiori o inferiori. Per l'intero organismo, esso risultava maggiore nei soggetti di genere maschile di poco più dell'1%. Per quanto riguarda gli arti superiori, la differenza tra i generi riscontrata era pari al 4% per l'emilato D e al 2% per l'emilato ND, sempre a favore del genere maschile. Per gli arti inferiori i valori misurati nei maschi risultavano maggiori di meno dell'1% per l'emilato D e del 2% per l'emilato ND (Tabella 7). In nessun caso tali differenze raggiungevano la significatività statistica.

Un procedimento analogo a quello attuato per l'indice BI è stato adottato per l'individuazione delle variabili in grado di predire i valori di AF. I risultati hanno mostrato che l'età era l'unico predittore significativo dell'AF, sia per

l'intero organismo che per gli arti inferiori (entrambi gli emilati) (Tabella 8). Non emergevano predittori significativi per gli arti superiori.

6.3.4 Forza di presa della mano

I valori dell'HGS misurati nel campione di bambini/adolescenti che hanno preso parte allo studio sono riportati in Tabella 9 per l'emilato D, l'emilato ND e la media dei due emilati. L'HGS medio risultava significativamente più basso nel genere femminile, con valori di $16,5 \pm 4,2$ kg vs. $18,1 \pm 5,0$ kg nel genere maschile, con una differenza del 9% circa sia per l'emilato D che per l'emilato ND.

Nella Tabella 10 sono mostrati i coefficienti di correlazione dell'HGS, distinti per emilato e per genere, con le caratteristiche generali e le variabili BIA. Correlazioni forti erano osservabili con l'età, la statura, il peso e, in misura leggermente inferiore con il BMI. Per quanto riguarda la composizione corporea, l'HGS ha mostrato di correlarsi bene con la FFM, la FM, l'indice BI e meno strettamente con l'AF.

E' stato costruito un modello di regressione lineare multipla al fine di individuare i predittori di HGS tra le variabili prese in esame nello studio. La regressione mostrava che statura, FFM e AF erano predittori positivi indipendenti e concomitanti dell'HGS per ciascuno dei due emilati; il valore dell' R^2 corretto era pari a 0,59 per l'emilato D e a 0,57 per l'emilato ND (Tabella 11). Relativamente alle variabili BIA (Tabella 12) risultavano predittori dell'HGS medio dei due emilati, l'età, l'indice BI e l'AF. Lo stesso valeva per l'HGS dell'emilato D e per l'HGS dell'emilato ND.

Inoltre sono state elaborati dei modelli di regressione multipla in cui i predittori dell'HGS dell'emilato dominante risultavano l'indice BI e l'AF dell'arto superiore dominante, il BMI SDS e il peso, mentre i predittori dell'HGS dell'emilato ND risultavano genere, età, peso, l'indice BI e AF

dell'arto superiore ND, mostrando valori di R^2 rispettivamente pari a 0,53 e 0,56 (dati non mostrati).

6.3.5 Test di efficienza fisica

Per il test SALTO 1 i valori medi erano maggiori ($p < 0,001$) nel genere maschile ($95,6 \pm 20,7$ cm vs. $84,7 \pm 19,3$ cm), con una differenza pari all'11%. Un analogo scarto del 9% è stato osservato anche per il test SALTO 5 (472 ± 87 cm nei maschi e 427 ± 79 cm nelle femmine) mentre per i test SEDIA e 6MWT i risultati erano simili nei due generi (Tabella 13). Le differenze per SALTO 1 e SALTO 5 permanevano dopo correzione per età e peso corporeo.

Sono stati esaminati i coefficienti di correlazione tra i vari test di efficienza fisica considerati. Come indicato in Tabella 14, esisteva una correlazione significativa dell'HGS con SALTO 1 e SALTO 5, che permaneva, ma più debole, con il 6MWT. Il test della SEDIA non mostrava una correlazione significativa con HGS, SALTO 1 e SALTO 5.

Sono state indagate, sia nei soggetti di genere femminile (Tabella 15) che nei soggetti di genere maschile (Tabella 16), le correlazioni lineari dei test di efficienza fisica con le caratteristiche generali e le variabili di composizione corporea disponibili. Il test SEDIA nei soggetti di genere maschile correlava molto bene con età e statura, più debolmente con peso, FFM e indice BI; nei soggetti di genere femminile correlava bene con peso, CV e indice BI. Per quanto riguarda il test SALTO 1, correlazioni forti erano osservabili nei maschi con età, statura, FFM, FM, indice BI e AF e nelle femmine con età, BMI SDS, CV/H, FM, indice BI e AF. I valori del test SALTO 5, nei maschi, correlavano molto bene con AF e debolmente con età, statura, BMI-SDS, FFM, FM e indice BI, e nelle femmine con età, BMI-SDS, CV/H, FM, indice BI e AF totale e AF arti inferiori. Infine, il test 6MWT nelle femmine correlava debolmente con età, statura, BMI SDS, CV/H e indice BI degli arti inferiori e AF degli arti inferiori, nei maschi solo debolmente con l'AF degli arti superiori dell'emilato dominante.

Infine, si è utilizzata la regressione lineare multipla al fine di individuare i predittori dei test di efficienza fisica tra le caratteristiche generali e di composizione corporea indagate. L'indice BI e l'AF erano entrambi e allo stesso tempo predittori positivi per i test SEDIA, SALTO 1 e SALTO 5. Il grado di eccesso ponderale, espresso come BMI SDS, influenzava negativamente i test SALTO 1, SALTO 5 e 6MWT (Tabella 17).

6.4 DISCUSSIONE

L'incremento allarmante di sovrappeso ed obesità in età evolutiva rappresenta un problema di sanità pubblica sia a livello nazionale che internazionale (WHO, 2000).

Tra i fattori obesogenici associati all'eccesso ponderale nei bambini e negli adolescenti vi sono in prima istanza una dieta inadeguata, a base di alimenti ad elevata densità energetica, e un insufficiente livello di attività fisica.

La valutazione dello stato nutrizionale, attraverso un'adeguata analisi della composizione corporea, ha una notevole importanza sia in termini diagnostici che di trattamento. Inoltre, la ricerca ha evidenziato l'importanza di monitorare l'efficienza fisica in età evolutiva essendo essa strettamente correlata allo stato di salute generale, sottolineandone anche l'importanza nell'ambito degli interventi terapeutici in presenza di eccesso ponderale (Bryant et al., 2014).

Il livello di attività fisica nei bambini e negli adolescenti sovrappeso e obesi è inferiore rispetto a quello dei loro coetanei normopeso con conseguenze negative sull'efficienza fisica globale e lo stato di salute (Page et al., 2005). Svolgere una scarsa attività fisica può incrementare le eventuali difficoltà motorie del soggetto con eccesso ponderale e portare a un vero e proprio stato di impaccio motorio che, a sua volta, rende difficoltosa la partecipazione alle attività fisiche, innescando così una sorta di circolo vizioso da cui non è semplice uscire.

Al fine di prevenire uno stato di carente efficienza fisica, è essenziale effettuare una corretta valutazione dell'efficienza muscolo-scheletrica, cardio-respiratoria e motoria dei soggetti con un eccesso ponderale. Tali valutazioni risultano di non semplice esecuzione, tanto maggiore è il grado di sovrappeso e obesità del soggetto. È probabilmente questa la ragione per la quale, mentre

sono numerosi i lavori che indagano le modalità di valutazione dell'efficienza fisica nella popolazione pediatrica generale, sono più rari quelli che riguardano i bambini e gli adolescenti obesi.

Alla luce di ciò, lo scopo del presente lavoro era quello di studiare l'applicazione di alcuni strumenti d'indagine, potenzialmente utilizzabili sia in ambito terapeutico che di sorveglianza nutrizionale, su un target costituito dalla categoria a maggior rischio nutrizionale, ovvero quella costituita dai bambini e dagli adolescenti sovrappeso e obesi.

In particolare, sono state valutate la composizione corporea, mediante BIA, e l'efficienza fisica, mediante 5 test specificatamente selezionati, e sono state studiate le relazioni intercorrenti tra le variabili BIA e i risultati dei test in bambini e adolescenti obesi di 8-14 anni.

6.4.1 Analisi impedenziometrica

La BIA misura alcune caratteristiche bioelettriche dell'organismo o di suoi segmenti e, attraverso l'uso di opportune equazioni predittive, fornisce una stima della composizione corporea. Nei bambini e adolescenti oggetto di studio sono state stimate la FFM e la FM utilizzando l'equazione di Schaefer et al. (1994). Nel nostro campione la FFM era maggiore nel genere maschile rispetto al genere femminile di circa il 7%, mentre non esistevano differenze significative per FM e %FM. La FM è risultata proporzionale al BMI SDS in tutti e due i generi.

Risultano praticamente assenti i dati relativi alle variabili BIA in bambini/adolescenti con eccesso ponderale. I dati di questo studio indicavano come i valori di Z relativi sia a tutto l'organismo che agli arti superiori che inferiori (ambedue gli emilati) fossero maggiori nelle femmine. L'indice BI per l'intero organismo è una variabile BIA espressione della TBW e della FFM, che nei maschi si presume siano maggiori. In linea con i risultati della Z,

l'indice BI era significativamente maggiore per il genere maschile in riferimento all'intero organismo e agli arti superiori, ma non per gli arti inferiori. Tali risultati sono in linea con le differenze tra i generi riscontrate relativamente alla FFM stimata. L'interpretazione della mancata differenza per gli arti inferiori resta difficile in assenza di una valutazione della composizione corporea effettuata con metodiche di riferimento quali la DXA.

In aggiunta, i risultati di questo studio hanno indicato come predittori positivi dell'indice BI dell'intero organismo il genere e il peso e, come predittore negativo, il BMI SDS. Per i valori dell'indice BI relativi agli arti superiori ed inferiori dei due emilati, in tutti i casi, i predittori risultavano essere il peso e il BMI SDS, il primo positivo e il secondo negativo.

La misura dell'AF fornisce indicazioni sulla qualità della FFM, in altri termini sul rapporto fra fluidi intracellulari ed extracellulari; un AF più alto può dipendere da un aumento della massa cellulare o da una riduzione dell'acqua extracellulare (evento quest'ultimo limitato agli stati di disidratazione). L'AF non mostrava differenze significative fra generi né per l'intero organismo né per gli arti superiori ed inferiori, diversamente da quanto riportato da Guida et al. (2008).

Un procedimento analogo a quello attuato per l'indice BI è stato eseguito per l'individuazione delle variabili in grado di predire i valori di AF. I risultati hanno indicato che l'unico predittore dell'AF, sia per l'intero organismo che per gli arti inferiori, era l'età, in linea con quanto descritto in letteratura per la popolazione generale (Kyle et al., 2015).

6.4.2 Forza di presa della mano

L'HGS medio risultava significativamente più basso nel genere femminile rispetto al genere maschile, mostrando una differenza del 9% circa per entrambi gli emilati. Variazioni con l'età e differenze fra generi sono

ampiamente descritti in letteratura, come già descritto nella discussione dello studio precedentemente illustrato, ma vengono in questo caso specificamente analizzati in bambini/adolescenti con forte eccesso ponderale. Un primo modello di regressione lineare multipla ha mostrato che statura, FFM e AF erano predittori indipendenti positivi per l'HGS per ciascuno dei due emilati, ma egualmente valido è risultato anche un modello che prendeva in considerazione età, indice BI e AF.

In altri termini, l'HGS mostra delle relazioni sufficientemente strette con la FFM, come già osservato in letteratura in soggetti non dichiaratamente obesi (De Souza et al., 2014; Jürimäe et al., 2009). Per altro verso è anche interessante osservare la presenza fra i predittori dell'AF, come già detto considerato un indice di massa cellulare attiva.

6.4.3 Indici di efficienza fisica

Il test SALTO 1 rappresenta uno strumento per valutare la forza esplosivo-elastica dei muscoli degli arti inferiori. Similmente, il test SALTO 5 misura le proprietà elastiche del muscolo, la potenza esplosiva e l'abilità di combinare movimenti consecutivi. Nei test SALTO 1 e SALTO 5, i maschi hanno mostrato risultati migliori delle femmine, rispettivamente dell'11% e del 9%. Questo è in accordo con i dati già raccolti nella popolazione generale come già riportato nella discussione dello studio della presente tesi precedentemente descritto. La differenza tra generi per SALTO 1 e SALTO 5 permaneva dopo correzione per età e peso corporeo ed entrambi i test risultavano significativamente correlati all'HGS, espressione dell'efficienza muscolo-scheletrica.

Le diversità fra generi sono probabilmente da addebitarsi alle differenze anatomico-fisiologiche esistenti tra maschi e femmine che tendono a divenire più chiare intorno agli 11-12 anni d'età, quando i mutamenti della composizione corporea della pubertà portano ad una maggiore percentuale di

FFM nei maschi e ad un incremento di FM nelle femmine (Bonjour et al., 1991; Rogol et al., 2002).

Nel test SEDIA, espressione della forza muscolare della parte inferiore del corpo, non sono state riscontrate differenze significative tra generi. Il test inoltre non mostrava correlazioni significative con l'HGS, probabilmente perché i due test rilevano aspetti diversi dell'efficienza fisica.

Nel test 6MWT, espressione di efficienza cardio-respiratoria, i bambini/adolescenti con eccesso ponderale hanno mostrato risultati simili nei due generi, in linea con altri studi in cui le differenze tra maschi e femmine cominciavano ad essere più evidenti solo dopo i 12 anni d'età, come già descritto nella discussione del secondo studio della presente tesi.

La regressione lineare multipla ha permesso di meglio individuare i predittori dei test di efficienza fisica tra le caratteristiche generali e di composizione corporea indagate. La FFM è risultata essere un predittore positivo per i test SALTO 1, SALTO 5 e 6MWT, probabilmente in quanto espressione della massa muscolare appendicolare e quindi anche di quella degli arti inferiori. Di contro l'AF si è rilevato un predittore positivo per i test SEDIA, SALTO 1 e SALTO 5. Il grado d'eccesso ponderale, espresso come BMI SDS, influenzava negativamente i test SALTO 1, SALTO 5 e 6MWT. Queste evidenze sperimentali, in linea con alcuni dati già presenti in letteratura (Hraski et al., 2015 Ramirez-Velez et al., 2016), confermano nello specifico di bambini/adolescenti con eccesso ponderale l'emergere di una serie di fattori predittivi dei test di efficienza fisica che sembrano presentare un rilievo maggiore nel caso dei test SALTO 1 e SALTO 5. La presenza dell'AF fra i predittori indica come anche in bambini/adolescenti con eccesso ponderale questa variabile possa fornire delle informazioni sulla qualità del muscolo e sulla sua capacità intrinseca in termini d'efficienza fisica.

6.5 CONCLUSIONI

La valutazione della composizione corporea e dell'efficienza fisica muscolare rappresenta un elemento fondamentale ai fini di una valida analisi dello stato nutrizionale e dello stile di vita del bambino e dell'adolescente.

L'analisi BIA offre la possibilità di ottenere informazioni sulle caratteristiche quantitative e qualitative della FFM. L'AF, infatti, si è confermato come un indice di qualità della FFM, espressione del rapporto fra fluidi intracellulari e fluidi extracellulari. Inoltre, esso è risultato un predittore positivo e indipendente per i test SEDIA, SALTO 1 E SALTO 5.

Pertanto, nel complesso, l'AF si propone come un possibile indice di efficienza muscolare a livello di popolazione, utile anche nella valutazione clinico-metabolica del bambino e dell'adolescente obeso.

Al fine della valutazione dell'efficienza fisica, i test proposti si sono rilevati utili per indagare l'efficienza cardio-respiratoria, l'efficienza muscolo-scheletrica e le capacità di coordinare diversi movimenti.

Per quanto riguarda le caratteristiche di composizione corporea, FFM e AF sono risultati predittori dell'HGS, che rappresenta un test rapido e di semplice esecuzione confermatosi un valido indicatore dello stato nutrizionale anche nei bambini e negli adolescenti con eccesso ponderale.

6.6 Tabelle e figure

TABELLA 1

Caratteristiche generali del campione di bambini/adolescenti che ha partecipato allo studio.

		Femmine (n=124)		Maschi (n=153)		p
		media	DS	media	DS	
Età	(anni)	10,5	1,9	10,8	1,8	NS
Statura	(cm)	145,1	10,4	147,6	11,2	<0,10
Peso	(kg)	60,4	14,3	63,4	15,3	<0,10
BMI SDS	DS	2,1	0,5	2,1	0,4	NS

DS= deviazione standard.

TABELLA 2

Distribuzione percentuale degli individui nelle diverse classi d'età considerate per il genere maschile e il genere femminile.

Età (anni)	Femmine (n=124)	Maschi (n=153)
8	25,8	16,3
9	21	18,3
10	19,9	22,9
11	11,5	15
12	8,1	13,8
13	8,9	9,1
14	4,8	4,6

TABELLA 3

Composizione corporea dei soggetti che hanno preso parte allo studio.

		FEMMINE (n=124)		MASCHI (n=153)		p
		media	DS	media	DS	
Circonferenza vita	(cm)	95,7	10,9	96,8	10,8	NS
Circonferenza vita/statura		0,66	0,06	0,66	0,05	NS
Massa magra alipidica	(kg)	30,1	5,6	32,2	6,6	<0,005
Massa lipidica	(kg)	30,3	9,9	31,2	9,9	NS
Percentuale di massa lipidica	(%)	49,3	6,1	48,5	5,7	NS

DS=deviazione standard; NS=non significativo

TABELLA 4

Impedenza (Z) nei bambini/adolescenti partecipanti allo studio, misurata per l'intero organismo e per ciascun emilato, distinta per genere.

	FEMMINE (n=124)		MASCHI (n=153)		p
	media	DS	media	DS	
Z totale D	612	68	585	70	<0,005
Z totale ND	615	69	590	69	<0,005
Z totale media D e ND	613	68	588	69	<0,005
Z arto superiore D	326	36	311	40	<0,005
Z arto superiore ND	326	38	315	39	<0,05
Z arto inferiore D	268	33	252	32	<0,001
Z arto inferiore ND	269	32	254	31	<0,001

D = emilato dominante; ND = emilato non dominante;
DS = deviazione standard

TABELLA 5

Indice bioimpedenziometrico (indice BI) del campione di bambini/adolescenti che ha partecipato allo studio, relativo all'intero organismo e agli arti superiori e inferiori (per ciascun emilato).

	INDICE BI a 50 kHz (cm ² /ohm)				
	FEMMINE (n=124)		MASCHI (n=153)		p
	media	DS	media	DS	
Totale	35,1	7,2	38,0	8,7	<0,01
Arto superiore D	7,6	1,9	8,4	2,3	<0,01
Arto superiore ND	7,6	1,9	8,3	2,2	<0,05
Arto inferiore D	15,1	3,6	15,8	4,1	NS
Arto inferiore ND	15,0	3,7	15,7	3,6	NS

DS = deviazione standard.

D = emilato dominante; ND = emilato non dominante.

TABELLA 6

Regressioni lineari multiple con l'indice BI a 50 kHz (cm^2/ohm) come variabile dipendente.

Indice BI	Intercetta	Genere	Peso	BMI-SDS	R ²	SEE
Totale	11,618 (1,152)	+1,255 (0,455)	+0,567 (0,020)	-5,149 (0,657)	0,79	3,74
p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Arto sup. D	2,252 (0,412)	-	+0,141 (0,007)	-1,389 (0,233)	0,66	1,28
p	<0,001	-	<0,001	<0,001	<0,001	
Arto sup. ND	2,143 (0,387)	-	+0,136 (0,007)	-1,239 (0,218)	0,67	1,20
p	<0,001	-	<0,001	<0,001	<0,001	
Arto inf. D	4,963 (0,772)	-	+0,239 (0,013)	-2,041 (0,436)	0,62	2,39
p	<0,001	-	<0,001	<0,001	<0,001	
Arto inf. ND	4,715 (0,742)	-	+0,240 (0,013)	-2,008 (0,418)	0,64	2,29
p	<0,001	-	<0,001	<0,001	<0,001	

DS = deviazione standard.

R²= R quadro corretto; SEE= errore standard della stima.

D = emilato dominante; ND = emilato non dominante.

TABELLA 7

Angolo di fase nel campione di bambini/adolescenti che ha partecipato allo studio.

ANGOLO DI FASE A 50 kHz (gradi)					
	Femmine (n=124)		Maschi (n=153)		p
	Media	DS	media	DS	
Totale	5,02	0,50	5,08	0,60	NS
Arto superiore D	3,16	0,69	3,28	0,75	NS
Arto superiore ND	3,18	0,72	3,10	0,80	NS
Arto inferiore D	4,49	0,79	4,52	0,93	NS
Arto inferiore ND	4,41	0,79	4,52	0,89	NS

DS=deviazione standard

D= emilato dominante; ND= emilato non dominante.

TABELLA 8

Predittori di AF dell'intero organismo e degli arti inferiori per ciascuno dei due emilati nel campione di bambini/adolescenti che hanno partecipato allo studio.

Angolo di fase	Intercetta	Età	R ²	SEE
Totale	4,566 (0,187)	+0,046 (0,017)	0,021	0,529
p	<0,001	<0,01		
Arto inferiore D	3,587 (0,322)	+0,086 (0,030)	0,029	0,860
p	<0,001	<0,005		
Arto inferiore ND	3,617 (0,312)	+0,080 (0,029)	0,026	0,832
p	<0,001	<0,01		

R²= R quadro corretto; SEE= errore standard della stima.

D= emilato dominante; ND= emilato non dominante.

TABELLA 9

Valutazione dell'HGS nel campione di bambini/adolescenti che ha partecipato allo studio.

	FEMMINE (n=124)		MASCHI (n=153)		p
	media	DS	media	DS	
HGS D (kg)	16,9	4,3	18,5	5,2	<0,005
HGS ND (kg)	16,1	4,3	17,6	5,1	<0,01
HGS M (kg)	16,5	4,2	18,1	5,0	<0,005

D= emilato dominante; ND= emilato non dominante; M= valore medio.
DS= deviazione standard.

TABELLA 10

Correlazioni di HGS vs. le caratteristiche generali e le variabili di composizione corporea nel campione di bambini/adolescenti oggetto di studio.

	MASCHI (n. 153)		FEMMINE (n. 124)	
	HGS D	HGS ND	HGS D	HGS ND
Età	0,661**	0,687**	0,560**	0,531**
Statura	0,684**	0,684**	0,643**	0,627**
Peso	0,674**	0,652**	0,572**	0,569**
BMI	0,446**	0,403**	0,298**	0,315**
BMI SDS	0,249*	0,189	0,163*	0,197**
Circonferenza vita	0,530**	0,480**	0,313**	0,330**
Circonferenza vita/statura	0,084	0,019	-0,104*	-0,074*
FFM	0,731**	0,731**	0,683**	0,672**
FM	0,553**	0,519**	0,438**	0,441**
FM (%)	0,155	0,106	0,077	0,091
Indice BI totale	0,704**	0,698**	0,669**	0,664**
Indice BI arto sup. D	0,668**	NA	0,620**	NA
Indice BI arto sup. ND	NA	0,701**	NA	0,628**
AF totale	0,285**	0,291**	0,314**	0,366**
AF arto sup. D	0,184*	NA*	0,192*	NA
AF arto sup. ND	NA	0,273**	NA	0,265**

D= emilato dominante; ND= emilato non dominante.

*p<0,05; **p<0,01.

NA=non applicabile perché la correlazione non è dovuta.

TABELLA 11

Predittori di HGS nel campione di bambini/adolescenti che hanno partecipato allo studio.

	Intercetta	Statura	FFM	AF	R ²
HGS D	-19,5	+0,124	+0,347	+1,650	0,59
p	<0,001	<0,020	<0,001	<0,001	<0,001
HGS ND	-17,9	+0,104	+0,379	+1,551	0,57
p	<0,001	<0,05	<0,001	<0,001	<0,001

D= emilato dominante; ND= emilato non dominante
R²= R quadro corretto

TABELLA 12

Predittori di HGS nel campione di bambini/adolescenti in eccesso ponderale che hanno partecipato allo studio.

	Intercetta	Età	Indice BI	Angolo di fase	R ²	SEE
HGS M	-9,2 (1,9)	+0,68 (0,14)	+0,29 (0,03)	+1,74 (0,35)	0,59	3,0
p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
HGS D	-8,9 (2,0)	+0,66 (0,14)	+0,29 (0,03)	+1,77 (0,37)	0,56	3,2
p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
HGS ND	-9,5 (2,0)	+0,71 (0,14)	+0,28 (0,03)	+1,72 (0,37)	0,56	3,2
p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	

M=valore medio dei due emilati; D= emilato dominante; ND= emilato non dominante.
R²= R quadro corretto; SEE= stima dell'errore standard.

TABELLA 13

Test di efficienza fisica nel campione di bambini/adolescenti che ha partecipato allo studio.

	FEMMINE (n=124)		MASCHI (n=153)		p
	media	DS	media	DS	
SEDIA (n. ripetizioni)	17,8	3,3	17,7	3,3	NS
SALTO 1 (cm)	85	19	96	21	<0,001
SALTO 5 (cm)	427	79	471	87	<0,001
6MWT (m/min)	456	43	462	46	NS

DS=deviazione standard.

SALTO 1=salto in lungo da fermo; SALTO 5=cinque salti in lungo da fermo; 6MWT=cammino per sei minuti.

TABELLA 14

Correlazioni lineari (reciproche) fra i test d'efficienza fisica nel campione di bambini/adolescenti che hanno partecipato allo studio.

		HGS D	SEDIA	SALTO 1	SALTO 5
SEDIA	Correlazione di Pearson	-0,127			
	p	<0,05			
SALTO 1	Correlazione di Pearson	0,431	0,021		
	p	<0,001	NS		
SALTO 5	Correlazione di Pearson	0,399	0,026	0,786	
	p	<0,001	NS	<0,001	
6MWT	Correlazione di Pearson	0,165	0,176	0,206	0,276
	p	<0,05	<0,005	<0,001	<0,001

D=emilato dominante.

SALTO 1=salto in lungo da fermo; SALTO 5=cinque salti in lungo da fermo; 6MWT=cammino per sei minuti.

TABELLA 15

Correlazioni lineari (reciproche) dei test d'efficienza fisica con le caratteristiche generali e di composizione corporea rilevati nei soggetti di genere femminile (n. 124).

	SEDIA	SALTO 1	SALTO 5	6MWT
Età	-0,252**	0,273**	0,206*	0,089
Statura	-0,227**	0,273**	0,175*	0,115
Peso	-0,208*	0,102	0,059	0,023
BMI SDS	-0,036	-0,208*	-0,179*	-0,122
Circonferenza vita	-0,093	-0,053	-0,034	-0,026
Circonferenza vita/statura	0,068	-0,273**	-0,177*	-0,131
Massa magra alipidica	-0,245	0,329**	0,229*	0,042
Massa lipidica	-0,162*	-0,040	-0,044	0,009
Massa lipidica in %	-0,030	-0,308**	-0,241**	-0,042
Indice BI totale	-0,226*	0,322**	0,219*	0,026
Indice BI arto sup. ND	-0,252*	0,329	0,202*	0,097
Indice BI arto sup. D	-0,244**	0,303**	0,159	0,077
Indice BI arto inf. D	-0,231**	0,339**	0,094	0,049
Indice BI arto inf. ND	-0,240**	0,346**	0,158	0,056
AF totale	0,014	0,511**	0,385**	0,094
AF arto sup. D	0,152	0,322**	0,243*	0,251**
AF arto sup. ND	0,245*	0,276**	0,251**	-0,066
AF arto inf. D	0,042	0,300**	0,192*	0,062
AF arto inf. ND	0,011	0,288**	0,168	0,030

D= emilato dominante; ND= emilato non dominante; *p<0,05; **p<0,01.

HGM=valore medio dell'HGS per i due emilati; AF=angolo di fase.

SALTO 1=salto in lungo da fermo; SALTO 5=cinque salti in lungo da fermo; 6MWT=cammino per sei minuti

TABELLA 16

Correlazioni lineari (reciproche) dei test d'efficienza fisica con le caratteristiche generali e di composizione corporea nei soggetti di genere maschile (n. 153).

	SEDIA	SALTO 1	SALTO 5	6MWT
Età	-0,204*	0,281**	0,281**	0,171*
Statura	-0,221*	0,186*	0,210*	0,174*
Peso	-0,267**	0,039	0,067	0,041
BMI SDS	-0,165*	-0,311**	-0,260**	-0,202*
Circonferenza vita	-0,275**	-0,114	-0,095	-0,040
Circonferenza vita/statura	-0,184*	-0,356**	-0,343**	-0,225*
Massa magra alipidica	-0,314*	0,207*	0,223*	0,081
Massa lipidica	-0,203*	-0,077	-0,045	0,009
Massa lipidica in %	0,009	-0,283**	-0,248**	-0,051
Indice BI totale	-0,319**	0,179*	0,198*	0,057
Indice BI arto sup. D	-0,269**	0,250**	0,260**	0,153
Indice BI arto sup. ND	-0,281**	0,255**	0,275**	0,148
Indice BI arto inf. D	-0,283**	0,170*	0,143	0,155
Indice BI arto inf. ND	-0,275**	0,170*	0,139	0,178*
AF totale	0,129	0,314**	0,338**	0,132
AF arto superiore D	0,197*	0,178*	0,178*	0,091
AF arto superiore ND	0,169*	0,174*	0,176*	0,071
AF arto inferiore <u>D</u>	0,098	0,277**	0,315**	0,092
AF arto inferiore ND	0,116	0,345**	0,379**	0,206*

D=emilato dominante; ND= emilato non dominante; *p<0,05;**p<0,01.

HGM=valore medio dell'HGS per i due emilati; AF=angolo di fase.

SALTO 1=salto in lungo da fermo; SALTO 5=cinque salti in lungo da fermo; 6MWT=cammino per sei minuti.

TABELLA 17

Predittori dei test di efficienza fisica nel campione di bambini/adolescenti con eccesso ponderale che hanno partecipato allo studio.

Variabile dipendente	Intercetta	Genere	Peso	BMI SDS	Indice BI totale	AF totale	R ²	SEE
Sedia	+18,014 (1,884)	-	-	-	-0,123 (0,024)	+0,841 (0,362)	0,090	3,162
p	<0,001	-	-	-	<0,001	<0,05		
SALTO 1	+32,108 (11,030)	+7,76 (2,09)	-	-17,0 (2,5)	+0,802 (0,140)	+12,0 (2,0)	0,339	16,910
p	0,004	<0,001	-	<0,001	<0,001	-		
SALTO 5	+222 (48)	+34 (9)	-	-60 (11)	+3 (1)	+48 (8)	0,276	73,462
p	<0,001	<0,001	-	<0,001	<0,001	<0,001		
6MWT	+481 (13)	-	+0,7 (0,2)	-32 (7)	-	-	0,056	42,397
p	<0,001		<0,001	<0,001				

R²= R quadro corretto; SEE= errore standard della stima

SALTO 1=salto in lungo da fermo; SALTO 5=cinque salti in lungo da fermo; 6MWT=cammino per sei minuti.

FIGURA 1

Distribuzione dei soggetti in classi in base al rapporto tra la CV e la statura, distinte per genere

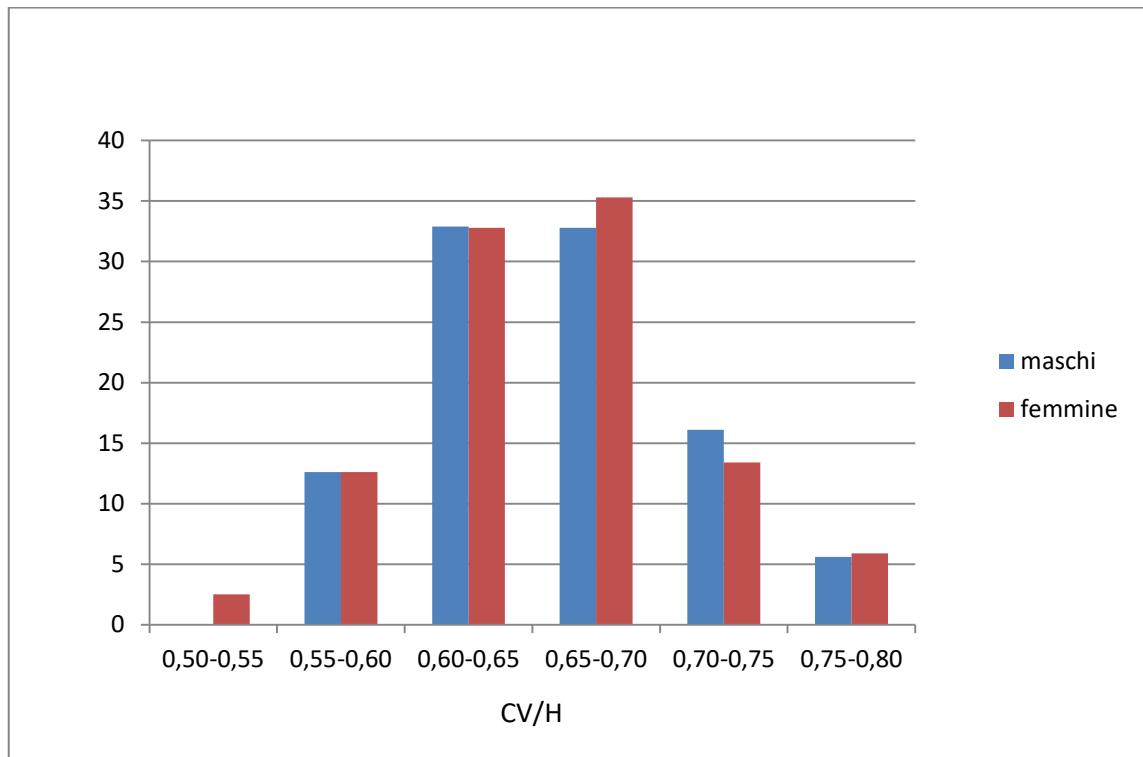


FIGURA 2

Distribuzione dei soggetti in classi in base al BMI SDS, distinte per genere.

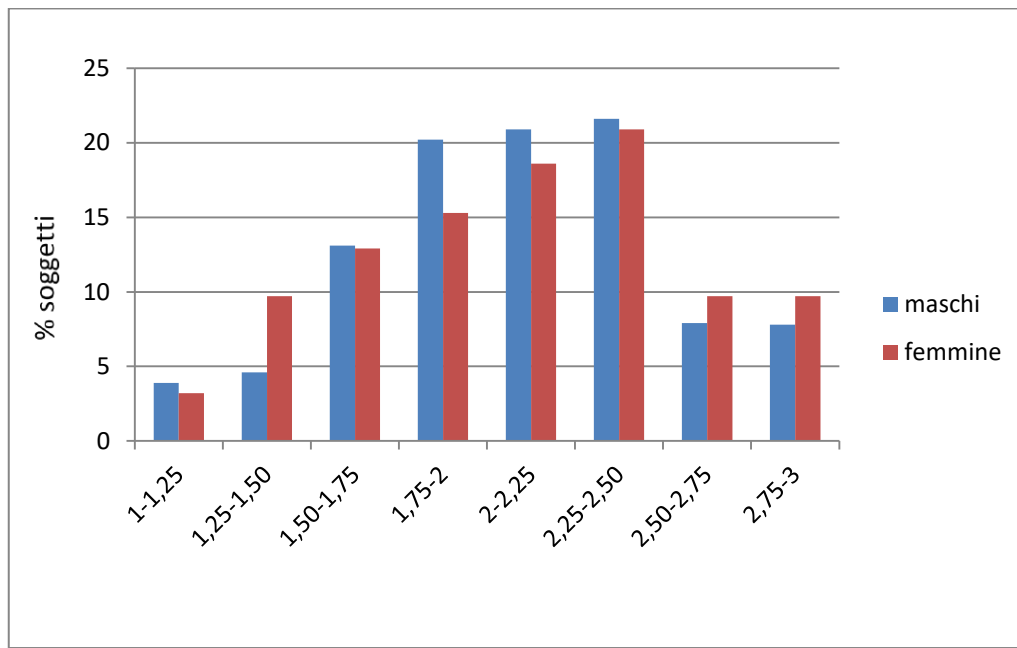
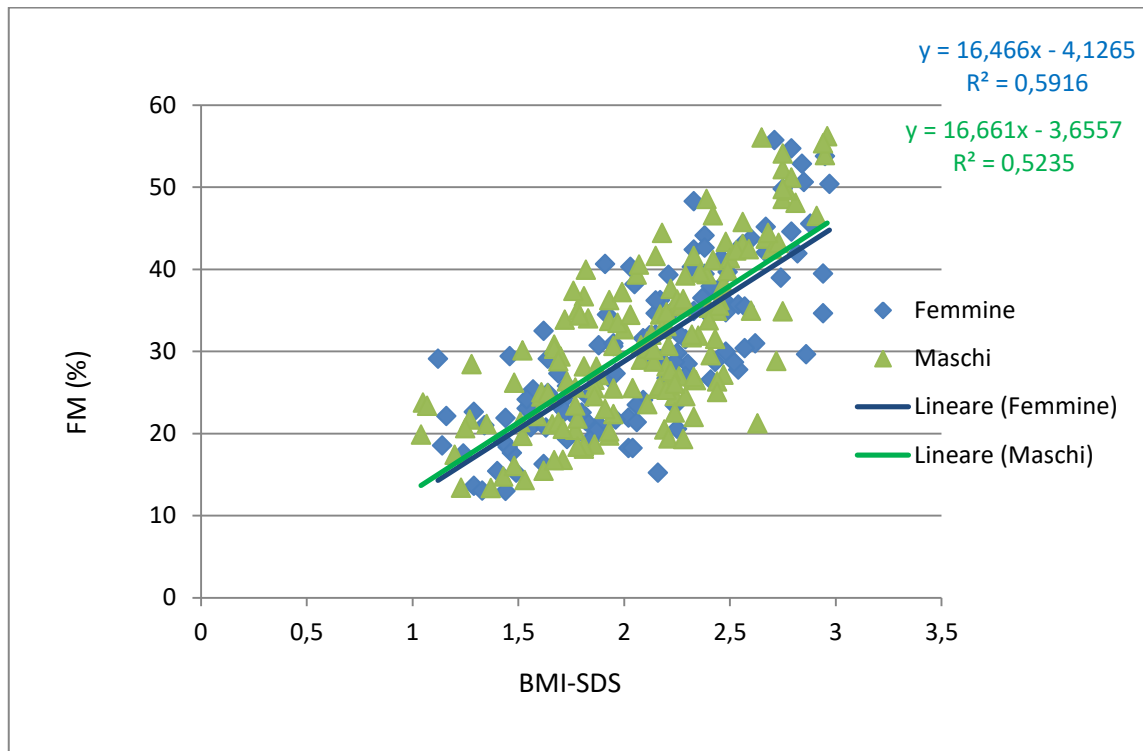


FIGURA 3

Rappresentazione grafica della relazione tra la massa grassa (%) e il BMI SDS nei soggetti di genere maschile e di genere femminile che hanno partecipato allo studio.



7. CONCLUSIONI GENERALI

L'insieme dei dati raccolti nei diversi studi presentati in questa Tesi di Dottorato permette di incrementare in modo significativo le conoscenze per l'età evolutiva concernenti le misure BIA tal quali, in primo luogo per quanto interessa la loro variabilità durante la crescita.

Le variazioni delle variabili BIA tal quali si sono rivelate coerenti con quanto atteso in relazione alla composizione corporea nei primi due decenni di vita. L'incremento dell'indice BI, un indicatore proxy della TBW e della FFM, sia per l'organismo in toto sia per gli arti superiori e gli arti inferiori, corrisponde all'aumento di tali compartimenti durante la crescita. Tale osservazione vale sia per i bambini/adolescenti reclutati dalla popolazione scolastica sia in quelli con forte eccedenza ponderale.

Rispetto a quanto finora conosciuto, i risultati di questa Tesi forniscono un quadro più completo circa le variazioni dei rapporti multifrequenza e dell'angolo di fase in età evolutiva. Si tratta di un aspetto importante alla luce dell'idea che queste due variabili siano degli indicatori proxy della qualità del muscolo intesa come percentuale di massa cellulare attiva o, in alternativa, del rapporto acqua extracellulare/acqua intracellulare. Anche in questo caso la progressiva riduzione degli IR e l'aumento dell'angolo di fase sono in linea con quanto avviene in questa fascia d'età, ovvero con una diminuzione relativa dell'acqua extracellulare e uno sviluppo della massa cellulare.

Numerosi lavori della letteratura hanno valutato l'efficienza fisica in età evolutiva utilizzando differenti test, in genere in combinazione, e sforzandosi in molti casi di fornire i relativi valori normativi (percentili di riferimento) stratificati per anno d'età. I dati della presente Tesi forniscono delle interessanti indicazioni circa la presenza di fattori predittivi dei test di

efficienza fisica considerati, a partire da quelli (HGS, SALTO 1 e 6 MWT) su cui sembra concentrarsi una maggiore attenzione da parte dei ricercatori.

I modelli statistici con la maggiore predittività, per come può essere giudicata dall' R^2 , sono quelli che considerano l'HGS come variabile dipendente, e ciò vale sia nei bambini/adolescenti reclutati dalla popolazione scolastica sia in quelli con forte eccesso ponderale. In aggiunta e in alternativa alle caratteristiche generali dell'individuo (genere, età, statura, peso, BMI-SDS) si deve sottolineare la presenza, in qualità di predittori significativi, anche della FFM e delle variabili BIA tal quali. In generale, anzi, i modelli che si basavano sulla BIA raggiungevano dei valori di R^2 più elevati rispetto a quelli che consideravano le sole caratteristiche individuali principali.

Considerazioni nel complesso analoghe possono essere tratte per quanto riguarda i test SALTO 1 e SALTO 5, anche se in questo caso i valori di R^2 erano inferiori. Al contrario, le variabili prese in considerazione mostravano una scarsa predittività per il test SEDIA. Per il 6 MWT, età e BMI-SDS emergevano come consistenti predittori nella popolazione scolastica, osservazione che non trovava conferma nei bambini/adolescenti con marcato sovrappeso.

Nel complesso, le variabili BIA tal quali (indice BI, IR e angolo di fase) appaiono dei buoni predittori di test di efficienza fisica che esplorano, almeno parzialmente, la forza degli arti superiori e degli arti inferiori. Da notare che l'indice BI è un indicatore proxy della quantità della FFM, mentre IR e angolo di fase si pensa siano espressione della composizione della FFM in termini di acqua extracellulare e di massa cellulare attiva.

I risultati della presente Tesi forniscono delle informazioni di base necessarie e utili per ulteriori studi sull'applicazione della BIA in età evolutiva, ad esempio per quanto concerne la valutazione della massa muscolare appendicolare, le relazioni fra BIA e misure di laboratorio della

forza muscolare, un ampliamento delle osservazioni all'età prescolare e nel restante periodo del secondo decennio di vita, un confronto con quanto osservabile in talune patologie dell'età evolutiva.

8. BIBLIOGRAFIA

- Alter M. Science of flexibility (3rd ed.). Champaign (IL), Human Kinetics 2004.
- Andrade S., Ochoa-Avilés A., Lachat C., Escobar P., Verstraeten R., Van Camp S., Donoso S., Rojas R., Cardon G., Kolsteren P. Physical fitness among urban and rural Ecuadorian adolescents and its association with blood lipids: a cross sectional study. BMC Pediatr. 2014; 14:106.
- Angst F., Drerup S., Werlw S., Herren D.B., Simmer B.R., Goldman J. Prediction of grip and key pinch strength in 978 healthy subjects. BMC Musculoskelet Disord. 2010; 19, 11:94.
- Anita T., Cote P.H.D., Kevin C., Harris M.D., Constadina Panagiotopoulos M.D., George G.S., Sandor M.D., Angela M., Devlin P.H.D. Childhood Obesity and Cardiovascular Dysfunction. Journal of the American College of Cardiology. 2013; vol. 62, N. 15.
- Araujo A.B., Chiu G.R., Kupelian V., Hall S.A., Williams R.E., Clark R.V., McKinlay J.B. Lean mass, muscle strength, and physical function in a diverse population of men: a population-based cross-sectional study. BMC Public Health. 2010; 10:508.
- Ari Y.S., Cesur Y., Kurtoğlu S., Mazıcıoğlu M.M., Cimbek E.A. Growth patterns of children of same geographic background reared in different environments. J Clin Res Pediatr Endocrinol. 2014; 6:233-237.
- Artero E.G., España-Romero V., Ortega F.B., Jiménez-Pavón D., Vicente-Rodríguez G., Bueno M., Marcos A., Gómez-Martínez S., Moreno L.A., Urzanqui A., González-Gross M, Gutiérrez A., Castillo

M.J. Health-related fitness in adolescents: underweight, and not only overweight, as an influencing factor. The AVENA study. *Scand J Med Sci Sports*. 2010; 20(3):418-27.

- Avery A. Anderson C., McCullough F. Associations between children's diet quality and watching television during meal or snack consumption: a systematic review. *Matern Child Nutr*. 2017 Feb 17.
- Avila M.L., Ward L.C., Feldman B.M., Montoya M.I., Stinson J., Kiss A., Brandao L.R. Normal Values for Segmental Bioimpedance Spectroscopy in Pediatric Patients. *PLoS One*. 2015; 10(4).
- Barbieri F.A., Dos Santos P.C., Vitório R., van Dieën J.H., Gobbi L.T. Effect of muscle fatigue and physical activity level in motor control of the gait of young adults. *Gait Posture*. 2013; 38(4):702-7.
- Barlow S.E., Dietz W.H. Obesity and treatment: Expert Committee Recommendations. *Pediatrics*, 1998; 102(3):29.
- Barness L.A., Opitz J.M., Gilbert-Barness E. Obesity: genetic, molecular, and environmental aspects. *Am J Med Genet A*. 2007 Dec 15; 143A(24):3016-34.
- Barufaldi L.A., Conde W.L., Schuch I., Duncan B.B., Castro T.G. Bioelectrical impedance values among indigenous children and adolescents in Rio Grande do Sul, Brazil. *Rev Panam Salud Publica*. 2011 Jul;30(1):39-45.
- Baumgartner R.N., Chumlea W.C., Roche A.F. Bioelectric impedance phase angle and body composition. *Am J Clin Nutr*. 1988 Jul;48(1):16-23.

- Bear-Lehman J., Kafko M., Mah L., Mosquera L., Reilly B. An exploratory look at hand strength and hand size among preschoolers. *Journal of Hand Therapy* 2002; 15:340-346.
- Bedogni G., Borghi A., Battistini N. The assessment of body hydration and water distribution in health and disease. *Clin. Diet.* 1996; 21:3-8.
- Bogin B. Patterns of human growth. Cambridge (UK): Cambridge University Press; 1988.
- Bergeron M.F., Mountjoy M., Armstrong N., Chia M., Côté J., Emery C.A., Faigenbaum A., Hall G.Jr, Kriemler S., Léglise M., Malina R.M., Pensgaard A.M., Sanchez A., Soligard T., Sundgot-Borgen J., Van Mechelen W., Weissensteiner J.R., Engebretsen L. International Olympic Committee consensus statement on youth athletic development. *British Journal Sports Medicine.* 2015; 49:843-851.
- Bianco A., Jemni M., Thomas E., Patti A. , Paoli A., Roque J.R. , Palma A., Mammina C., Tabacchi G. A systematic review to determine reliability and usefulness of the field-based test batteries for the assessment of physical fitness in adolescents – THE ASSO PROJECT. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health.* 2015; 28(3):445-478.
- Boileau R.A., Lohman T.G., Slaughter M.H., Ball T.E., Going S.B., Hendrix M.K. Hydration of the fat-free body in children during maturation. *Hum Biol.* 1984; 56:651-666.
- Bonjour J.P., Theintz G., Buchs B., Slosman D., Rizzoli R. Critical years and stages of puberty for spinal and femoral bone mass accumulation during adolescence. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism.* 1991; 73:555-563.

- Bosy-Westphal A., Danielzik S., Do"rho"fer R., Wiebke Later, Wiese S., Mu"ller M.J. Phase Angle From Bioelectrical Impedance Analysis: Population Reference Values by Age, Sex, and Body Mass Index Journal of parenteral and enteral nutrition. 2006; vol.30, N.4.
- Bovet P., Auguste R., Burdette H. Strong inverse association between physical fitness and overweight in adolescents: A large school-based survey. Int J Behav Nutr Phys Act. 2007; 4:24.
- Broyles S.T., Denstel K.D., Church T.S., Chaput J.P., Fogelholm M., Hu G., Kuriyan R., Kurpad A., Lambert E.V., Maher C., Maia J., Matsudo V., Onywera V., Sarmiento O.L., Standage M., Tremblay M.S., Tudor-Locke C., Zhao P., Katzmarzyk P.T.; ISCOLE Research Group. The epidemiological transition and the global childhood obesity epidemic. Int J Obes Suppl. 2015 Dec; 5(Suppl 2):S3-8.
- Bryant M., Ashton L., Nixon J., Jebb S., Wright J., Roberts K., Brown J. CoOR Scientific advisory group. Framework of outcome measures recommended for use in the evaluation of childhood obesity treatment interventions: the CoOR framework. Pediatr Obes. 2014 Dec; 9(6):e116-31.
- Buffa B., Floris G., Marini E. Bioelectrical Impedance Vector in Pre- and Postmenarcheal Females Applied investigation. Nutrition. 2002; 18:474–478.
- Butterfield S.A., Lehnhard R.A., Loovis E.M., Coladarci T., Saucier D. Grip strength performances by 5 to 19 year-olds. Percept Mot Skills. 2009; 109:362-370.
- Caballero B. The global epidemic of obesity: an overview. Epidemiol Rev. 2007; 29:1-5.

- Cacao L., Santana-Filho V.J., Maynard L.J., Neto M.G., Fernandes M. Oliveira Carvalho V. Reference values for the six-minute walk test in healthy children and adolescents: a systematic review. *Braz J Cardiovasc Surg.* 2016 Sep-Oct; 31(5): 381-388.
- Cacciari E., Milan S., Balsamo A., Spada E., Bona G., Cavallo L., Cerutti F., Gargantini L., Greggio N., Tonni G., and Cicognani A., J. *Endocrinol. Invest.* 2006; 29:581-593.
- Campbell K.J., Crawford D.A., Ball K. Family food environment and dietary behaviors likely to promote fatness in 5-6 year-old children. *Int J Obes (Lond).* 2006 Aug; 30(8):1272-80.
- Carreira H., Amaral T.F., Brás-Silva C., Oliveira B.M.P.M., Borges N. Força da preensão da mão numa amostra de crianças dos 11 aos 14 anos. *Acta Med Port* 2010; 23:811-8.
- Caspersen Carl J., Powell Mph Kenneth E., Christenson Mph Gregory M. Physical Activity, Exercise and Physical Fitness: Definitions and Distinctions for Health-Related Research. *Public Health Reports* 1985.
- Castilho S.D., Barras Filho A.A. Crescimento pós-menarca. *Arq Bras Endocrinol Metab* 2000; 44:195-204.
- Castro-pinero J., Artero E.G., Espana-Romero V., Ortega F.B., Sjostrom M., Suni J., Ruiz J.R. Criterion-related validity of field-based fitness tests in youth: a systematic review. *Br J Sports Med.* 2010; 44(13):934-43
- Cattuzzo M.T., Dos Santos Henrique R., Re A.H., De Oliveira I.S., Melo B.M., De Sousa Moura M., et al: Motor competence and health related physical fitness in youth: a systematic review. *J Sci Med Sport* 2016; 19(2): 123-9.

- Cha K., Chertow G.M., Gonzalez J., Lazarus J.M., Wilmore D.W. Multifrequency bioelectrical impedance estimates the distribution of body water. *J Appl Physiol* (1985). 1995 Oct; 79(4):1316-9.
- Chung L.M.Y. , Chow L.P.Y., Chung J.W.Y. Normative reference of standing long jump indicates gender difference in lower muscular strength of pubertal growth Health. 2013; vol.5, N.6A3, 6-11.
- Cleary J.M., Suzie D.M., Anthony D., Okely E., Marijka Batterham P., Nicholls J. Predictive Validity of Four Bioelectrical Impedance Equations in Determining Percent Fat Mass in Overweight and Obese Children. *Journal of the American Dietetic Association*. 2008; 108:136-139.
- Cohen D.D., Voss C., Taylor M.J.D., Stasinopoulos D.M., Delextrat A., Sandercock G.R.H. Handgrip strength in English schoolchildren. *ActaPaediatrica*. 2010; 99:1065-72.
- Cole T.J., Bellizzi M.C, Flegal M.K., Dietz H.W. Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: International Survey. *BMJ*. 2000 May; 320, 1240-1243.
- Cornette R. The emotional impact of obesity on children. *Worldviews Evid Based Nurs*. 2008; 5(3):136-41.
- Crane J., Temple V. A systematic review of dropout from organized sport among children and youth. *Eur Phys Educ Rev*. 2015; 21:114-131.
- De Miguel-Etayo P., Gracia-Marco L., Ortega F.B., Intemann T., Foraita R., Lissner L., Oja L., Barba G., Michels N., Tornaritis M., Molnár D., Pitsiladis Y., Ahrens W., Moreno L.A.; IDEFICS consortium. Physical fitness reference standards in European children: the IDEFICS study. *Int J Obes*. 2014; 38 Suppl 2:S57-66.

- De Moraes Ferrari G.L., Bracco M.M., Matsudo V.K., Fisberg M.M. Cardiorespiratory fitness and nutritional status of schoolchildren: 30-year evolution. *J Pediatr (Rio J)*. 2013; 89(4):366-373.
- De Palo T., Messina G., Edefonti A., Perfumo F., Pisanello L., Peruzzi L., Di Iorio B., Mignozzi M., Vienna A., Conti G., Penza R., Piccoli A. Normal values of the bioelectrical impedance vector in childhood and puberty. *Nutrition*. 2000 Jun; 16(6):417-24.
- De Smet L, Vercammen. A. Grip strength in children. *Journal of Pediatric Orthopaedics B* 2001; 10:352–354.
- De Souza M.A., C. R.-S. Normative data for handgrip strength in healthy children measured with a bulb dynamometer: across-sectional study. *Physiotherapy* 2014; 100:313–318.
- Deurenberg P., Van der Kooy K., Leenen R., Weststrate J.A., Seidell J.C. Sex and age specific prediction formulas for estimating body composition from bioelectrical impedance: A cross validation study. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 1991; 15:17-25.
- Dietz W.H. Health consequences of obesity in youth: childhood predictors of adult disease. *Pediatrics* 1998; 101(3 Pt 2):518-25
- Domingues-Montanari S.. Clinical and psychological effects of excessive screen time on children. *J Paediatr Child Health*. 2017 Apr; 53(4):333-338.
- Dougherty K.A., Schall J.I., Rovner A.J., Stallings V.A., Zemel B.S.. Attenuated maximal muscle strength and peak power in children with sickle cell disease. *J Pediatr Hematol Oncol* 2011; 33:93-7.
- Dumith S.C., Ramires V.V., Souza M.A., Moraes D.S., Petry F.G., Oliveira E.S., Ramires S.V., Hallal P.C. Overweight/obesity and

physical fitness among children and adolescents. *J Phys Act Health*. 2010; 7:641-648.

- Dumith S.C., Van Dusen D., Kohl H.W. Physical fitness measures among children and adolescents: are they all necessary?. *J Sports Med Phys Fitness*. 2012 Apr; 52(2):181-9.
- Earthman C.P. Body composition tools for assessment of adult malnutrition at the bedside: a tutorial on research considerations and clinical applications. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2015; 39(7):787-822.
- Egan K.B., Ettinger A.S., Bracken M.B. Childhood body mass index and subsequent physician-diagnosed asthma: a systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies. *BMC Pediatr*. 2013 Aug 13; 13:121.
- Ervin R. B., Wang C., Fryar C.D., Miller I.M, Ogden C.L. Measures of Muscular Strength in U.S. Children and Adolescents, 2012. *NCHS Data Brief*. 2013 Dec; N. 139.
- España-Romero V., Ortega F.B., Vicente-Rodríguez G., Artero E.G., Rey J.P, Ruiz J.R. Elbow position affects handgrip strength in adolescents: validity and reliability of Jamar, Dynex and TKK dynamometers. *J Strength Cond Res*. 2010 Jan; 24(1):272-7.
- EUROFIT. Handbook for the EUROFIT tests of physical fitness, 2nd edn. Committee of Experts on Sports Research, Strasbourg. 1993.
- Finkelstein E.A., Fiebelkorn I.C., Wang G. National medical spending attributable to overweight and obesity: how much, and who's paying? *Health Aff (Millwood)*. 2003 Jan-Jun; Suppl Web Exclusives:w3-219-26.

- Finkelstein E.A., Trogon J.G., Cohen J.W., Dietz W. Annual medical spending attributable to obesity: payer-and service-specific estimates. *Health Aff (Millwood)*. 2009 Sep-Oct; 28(5):w822-3.
- FITNESSGRAM test administration manual. Champaign (IL): Human Kinetics; 1999.
- Flegal K.M., Graubard B.I., Williamson D.F., Gail M.H. Excess deaths associated with underweight, overweight, and obesity. *JAMA*. 2005 Apr 20; 293(15):1861-7.
- Fjeld C.R. Freundt-Thurne J., Schoeller D.A. Total Body Water Measured by Dilution and Bioelectrical Impedance in Well and Malnourished Children003 1-3998/90/270 1-0098\$02.00/0 PEDIATRIC RESEARCH Copyright O 1990 International Pediatric Research Foundation. 1990; Inc. Vol. 27, N. 1. Printed in U.S.A.
- Fomon S.J., Haschke F., Ziegler E.E., Nelson S.E. Body composition of reference children from birth to age 10 years. *The American Journal of Clinical Nutrition* May. 1982; 35:pp.1169-1175. Printed in U.S.A.
- Fjørtoft I., Pedersen A.V., Sigmundsson H., Vereijken B. Measuring Physical Fitness in Children Who Are 5 to 12 Years Old With a Test Battery That Is Functional and Easy to Administer. *Physical Therapy*. 2011; vol. 91 n. 7.
- Geiger R., Willeit J., Rummel M., Högl W., Stübing K., Strasak A., Geiger H., Stein J.I., Rauchenzauner M. Six-minute walk distance in overweight children and adolescents: effects of a weight-reducing program. *J Pediatr*. 2011 Mar; 158(3):447-51.
- Guida B., Pietrobelli A., Trio R., Laccetti R., Falconi C., Ruggiero Perrino N., Principato S., Pecoraro P. Body mass index and

- bioelectrical vector distribution in 8-year-old children. *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases*. 2008; 18, 133-141.
- Häger-Ross C., Rosblad B. Norms for grip strength in children aged 4-16 years. *Acta Pædiatrica*. 2002; 91:617-625.
 - Hale L., Guan S. Screen time and sleep among school-aged children and adolescents: A systematic literature review. *Sleep Med Rev*. 2015 Jun; 21:50-58.
 - Harman E. Exercise physiology: Strength and power: A definition of terms. *Natl Str Cond Assoc J*. 1993; 15(6):18-21.
 - Haslam D. The treatment of obesity: past, present and future. *British Journal of Obesity* 2015, Vol 1, No 1, Pages 1-40.
 - Hesketh K., Wake M., Waters e. Body mass index and parent-reported self-esteem in elementary school children: evidence of a casual relationship. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord*. 2004; 28(10): 1233-7.
 - Heyward V.H., Stolarczyk L.M. Applied body composition assessment. Human Kinetics Books. Champaign, Illinois, 1996.
 - Hoelscher D.M., Kirk S., Ritchie L., Cunningham-Sabo L. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Interventions for the Prevention and Treatment of Pediatric Overweight and Obesity. *J Acad Nutr Diet*. 2013; 113 (10), 1375-1394.
 - Hogrel J.Y., Decostre V., Alberti C., Canal A., Ollivier G., Josserand, Ilham Taouil E., Simon D. Stature is an essential predictor of muscle strength in children. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2012; 13:176.
 - Houtkooper L.B., Going S.B., Lohman T.G., Roche A.F., Van Loan M. Bioelectrical impedance estimation of fat free body mass in children and youth: A cross validation study. *J Appl Physiol* 1992; 72:366-373.

- Hraski M., Hraski Ž., Mrakovi S., Horvat V. Relation between Anthropometric Characteristics and Kinematic Parameters which Influence Standing Long Jump Efficiency in Boys and Adolescents. *Coll Antropol.* 2015; 39:47–55.
- INRAN Linee guida per una sana alimentazione italiana. Revisione 2003.
- IOM, Institute of Medicine. Fitness measures and health outcomes in youth. Washington, DC: The National Academies. 2012.
- ISS, Istituto Superiore di Sanità. OKkio alla SALUTE 2014: Sintesi dei risultati. Italian cross-sectional growth charts height, weight and BMI (2 to 20 yr).
- Jürimäe T., Hurbo T., Jürimäe, J. Relationship of handgrip strength with anthropometric and body composition variables in prepubertal children. *Homo.* 2009; 60(3):225-38.
- Karppanen A.K., Ahonen S.M., Tammelin T., Vanhala M., Korpelainen R. Physical activity and fitness in 8-year-old overweight and normal weight children and their parents. *Int J Circumpolar Health.* 2012; 71:17621.
- Kelley G.A., Kelley K.S. Effects of exercise in the treatment of 7 group sports and fitness in overweight youth overweight and obese children and adolescents: a systematic review of meta-analyses. *J Obes.* 2013; 2013:783103.
- Khadilkar A., Ekbote V., Chiplonkar S., Khadilkar V., Kajale N., Kulkarni S., Parthasarathy L., Arya A., Bhattacharya A., Agarwal S. Waist circumference percentiles in 2-18 year old Indian children. *J Pediatr.* 2014 Jun; 164(6):1358-62.

- Kocher M.H., Romine R.K., Stickley C.D., Morgan C.F., Resnick P.B., Hetzler R.K. Allometric Grip Strength Norms for Children of Hawaiian Lineage. *J Strength Cond Res.* 2017 Dec 13.
- Krstrup P., Aagaard P., Nybo L., Petersen J., Mohr M., Bangsbo J. Recreational football as a health promoting activity: a topical review. *Scand J Med Sci Sports.* 2010; 20 (Suppl 1):1-13.
- Kyle U.G., Earthman C.P., Pichard C., Coss-Bu J.A. Body composition during growth in children: limitations and perspectives of bioelectrical impedance analysis. *European Journal of Clinical Nutrition* 2015; 69, 1298-1305.
- Lammers A.E., Hislop A.A., Flynn Y., Haworth S.G.: The 6-minute walk test: normal values for children of 4–11 years of age. *Arch Dis Child.* 2008; 93: 464-468.
- Lanham-New S.A., Macdonald I.A., Roche H.M. *Nutrition and Metabolism* (2th ed.). The Nutrition Society, 2011.
- Latorre-Román P.Á., García-Pinillos F., Mora-López D. Reference Values of Standing Long Jump in Preschool Children: A Population-Based Study. *Pediatr Exerc Sci.* 2017 Feb;29(1):116-120.
- Lazzer S., Bedogni G., Agosti F., De Col A., Mornati D., and Sartorio A. Comparison of dual-energy X-ray absorptiometry, air displacement plethysmography and bioelectrical impedance analysis for the assessment of body composition in severely obese Caucasian children and adolescents. *British Journal of Nutrition.* 2008; 100, 918-924.
- Liao Y., Chang S.H., Miyashita M., Stensel D., Chen J.F., Wen L.T., Nakamura Y. Associations between health-related physical fitness and obesity in Taiwanese youth. *J Sports Sci.* 2013; 31:1797-1804.

- Liu A., Byrne N.M., Ma G., Nasreddine L., Trinidad T.P., Kijboonchoo K., Ismail M.N., Kagawa M., Poh B.K., Hills A.P. Validation of bioelectrical impedance analysis for total body water assessment against the deuterium dilution technique in Asian children. *Eur J Clin Nutr.* 2011 Dec; 65(12):1321-7.
- Lloyd R.S., Oliver J.L., Faigenbaum A.D., Myer G.D. De Ste Croix M.B.A. Chronological age vs. biological maturation: implications for exercise programming in youth. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc.* 2014; 28:1454–1464.
- Lobstein T., Jackson-Leach R., Moodie M.L., Hall K.D., Gortmaker S.L., Swinburn B.A., James W.P., Wang Y., McPherson K. Child and adolescent obesity: part of a bigger picture. *The Lancet*, 2015 Jun 20; 385(9986):2510-20.
- Lohman T.G., Hingle M., Going S.B. Body composition in children. *Pediatric Exercise Science.* 2013; 25, 573-590.
- Loscalzo J., Jameson J.L., Longo D., Fauci A.S., Hauser S.L., Kasper D.L. *Harrison's Principles of Internal Medicine* (19th ed.) McGraw-Hill Medical, 2015.
- Lytle, Leslie A. *Nutrition Education for School-Aged Children: A Review of Research.* Food and Consumer Service (USDA), Washington, DC. 1994; 108p.
- Malina R.M., Bouchard C., Bar-Or O. *Growth, maturation, and physical activity.* Second edition. Human Kinetics Books, Champaign, Illinois, 2004.
- Mathias-Genovez M.G., Oliveira C.C., Camelo J.S., Del Ciampo L.A., Monteiro J.P. Bioelectrical Impedance of Vectorial Analysis and Phase

Angle in Adolescents. Journal of the American College of Nutrition. 2016; Vol. 35, issue 3.

- McCarthy H.D. , Jarrett K.V., Crawley H.F. The development of waist circumference percentiles in British children aged 5.0-16.9 y. European Journal of Clinical Nutrition. 2001; 55: 902-907.
- McCarthy H.D., Samani-Radia D., Jebb S.A., Prentice A.M. Skeletal muscle mass reference curves for children and adolescents. Pediatr Obes. 2014; 9(4):249-59.
- McGuigan M., Tatasciore M., Newton R., et al. Eight weeks of resistance training can significantly alter body composition in children who are overweight or obese. J Strength Cond Res. 2009; 23(1):80-5.
- McKay M.J., Baldwin J.N., Ferreira P., Simic M., Vanicek N., Burns J.; 1000 Norms Project Consortium. Reference values for developing responsive functional outcome measures across the lifespan. Neurology. 2017 Mar 22.
- Molenaar H.M., Selles R.W., Zuidam J.M., Willemsen S.P., Stam H.J., Hovius SER. Growth diagrams for grip strength in children. Clin Orthop Relat Res 2009; 468:217-23.
- Montalcini T., Ferro Y., Salvati M., Romeo S., Miniero R., Pujia A. Gender difference in handgrip strength of Italian children aged 9 to 10 years. Italian Journal of Pediatrics. 2016; 42:16.
- Montanari-Domingues S. Clinical and Psychological Effects of Excessive Screen Time on Children. J Paediatr Child Health. 2017 Feb; (4), 333-338.
- Mora S., Gilsanz V. Establishment of peak bone mass. Endocrinol Metab Clin North Am. 2003 Mar; 32(1): 39-63.

- Moura P.M., Moreira D., Caixeta A.P.L. Força de preensão palmar em crianças e adolescentes saudáveis. *Rev Paul Pediatr* 2008; 26:290-4.
- Mylius C.F., Paap D., Takken T. Reference value for the 6-minute walk test in children and adolescents: a systematic review. *Expert Rev Respir Med.* 2016 Dec; 10(12):1335-1352.
- Nagano M., Suita S., Yamanouchi T. The validity of bioelectrical impedance phase angle for nutritional assessment in children. *J Pediatr Surg.* 2000 Jul; 35(7):1035-9.
- Nardone P., Spinelli A., Buoncrisiano M., Lauria L., Pizzi E., Andreozzi S., Galeone D. Il Sistema di sorveglianza OKkio alla SALUTE: risultati 2014 Centro Nazionale di Epidemiologia, Sorveglianza e Promozione della Salute Roma 2016.
- Neu C.M., Rauch F., Rittweger J., Manz F., Schoenau E. Influence of puberty on muscle development at the forearm. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2002 Jul; 283(1):E103-7.
- Newton R.L., Alfonso A., White M.A., York-Crowe E., Walden H., Ryan D., Bray G.A., Williamson D. Percent body fat measured by BIA and DEXA in obese, African-American adolescent girls. *Int J Obes (Lond).* 2005; 29(6):594-602.
- Norman K., Stobäus N., Pirlich M., Bosy-Westphal A. Bioelectrical phase angle and impedance vector analysis--clinical relevance and applicability of impedance parameters. *Clin Nutr.* 2012 Dec; 31(6):854-61.
- Odgen C.L., Carroll M.D., Kit B.K., Flegal K.M. Prevalence of obesity and trends in body mass index among US children and adolescents. *JAMA* 2012; 307:483–490.

- Oliveira A., Monteiro A., Jacome C., Afreixo V., Marques A. Effects of group sports on health-related physical fitness of overweight youth: A systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports* 2016 Oct.
- Omar M.T., Alghadir A., Al Baker S. Norms for hand grip strength in children aged 6-12 years in Saudi Arabia. *DevNeurorehabil* 2015; 18(1):59-64.
- Organ L.W., Bradham G.B., Gore D.T., Lozier S.L. Segmental bioelectrical impedance analysis: theory and application of a new technique. *J Appl Physiol*. 1994 Jul; 77(1):98-112.
- Ortega F.B., Ruiz J.R., Castillo M.J., Moreno L.A. GonzálezGross M., Wärnberg J., et al. Low level of physical fitness in Spanish adolescents. Relevance for future cardiovascular health (AVENA study). *Rev Esp Cardiol*. 2005; 58 (8):898-909.
- Ortega F.B., Ruiz J.R., Castillo M.J., Sjostrom M. Physical fitness in childhood and adolescence: a powerful marker of health. *Int JObes (Lond)*. 2008; 32(1):1-11.
- Ortega F.B., Labayen I., Ruiz J.R, Kurvinen E., Loit H.M., Harro J., Veidebaum T., Sjostrom M. Improvements in fitness reduce the risk of becoming overweight across puberty. *Med Sci Sports Exerc*. 2011; 43(10):1891-7.
- Oja P., Titze S., Kokko S., Kujala U.M., Heinonen A., Kelly P., Koski P., Foster C. Health benefits of different sport disciplines for adults: systematic review of observational and intervention studies with metaanalysis. *Br J Sports Med*. 2015; 1-8.
- Page A., Cooper A.R., Stamatakis E., Foster L.J., Crowne E.C., Sabin M., Shield J.P.H. Physical activity patterns in nonobese and obese

children assessed using minute-by-minute accelerometry. *Int J Obes (Lond)*. 2005; 29:1070-1076.

- Pate R.R., O'Neill J.R., Liese A.D., Janz K.F., Granberg E.M., Colabianchi N.W., Harsh D., Condrasky M.M., O'Neil P.M., Lau E.Y., Taverno Ross S.E. Factors associated with development of excessive fatness in children and adolescents: a review of prospective studies. *obesity reviews*. 2013; 14, 645-658.
- Péneau S., González-Carrascosa R., Gusto G., Goxe D., Lantieri O., Fezeu L., Hercberg S., Rolland-Cachera M.F. Age at adiposity rebound: determinants and association with nutritional status and the metabolic syndrome at adulthood. *International Journal of Obesity*. 2016; 40, 1150-1156.
- Peres W.A., Lento D.F., Baluz K., Ramalho A. Phase angle as a nutritional evaluation tool in all stages of chronic liver disease. *Nutr Hosp*. 2012 Nov-Dec; 27(6):2072-8.
- Pescatello L.S., Devaney J.M., Hubal M.J., Thompson P.D., Hoffman E.P. Highlight from the functional single nucleotide polymorphisms associated with human muscle size and strength or FAMuSS study. *BioMed Res Int*. 2013.
- Ploegmakers J.J., Hepping A.M., Geertzen J.H.B., Bulstra S.K., Stevens M. Grip strength is strongly associated with height, weight and gender in childhood: a cross sectional study of 2241 children and adolescents providing reference values. *Journal of Physiotherapy*. 2013; 59(4):255-61.
- Plowman S.A.. Top 10 research questions related to musculoskeletal physical fitness testing in children and adolescents. *Res Q Exerc Sport*. 2014 Jun; 85(2):174-87.

- Poulain M., Geneviève M., Major C., Drapeau V., Sériès F., Boulet L.P., Tremblay A., Maltais F. The effect of obesity on chronic respiratory diseases: pathophysiology and therapeutic strategies, in CMAJ. 2006 Apr 25; 174(9):1293-1299.
- Quételet L.A.J. Sur l'homme et le développement de ses facultés, ou, Essai de physique sociale. Published 1835
- Ramirez-Velez R., Martínez M., Correa-Bautista J.E., Lobelo F., Izquierdo M., Rodríguez-Rodríguez F., Cristi-Montero C. Normative Reference of Standing Long Jump for Colombian Schoolchildren Aged 9-17.9 Years: The FUPRECOL Study. Journal of Strength and Conditioning Research Publish Ahead of Print. 2016 Sep 6.
- Rauch F., Neu C.M., Wassmer G., Beck B., Rieger-Wettengl G., Rietschel E., Manz F., Schoenau E. Muscle analysis by measurement of maximal isometric grip force: new reference data and clinical applications in pediatrics. Pediatric Research. 2002; 51:505-510.
- Reilly J.J., McColl J.H., Carmichael M., Durnin J.V.G.A. Ability of Bioelectric Impedance to predict fat free mass in prepuberal children. Pediatric Research, 1996; 39(1):176-179.
- Reinehr T. Type 2 diabetes mellitus in children and adolescents. World J Diabetes. 2013 Dec 15; 4(6):270-281.
- Roche A.F., Heymsfield S.B., Lohman T.G., eds. Human body composition. Human Kinetics Books, Champaign, Illinois, 1996.
- Rogol A.D., Roemmich J.N., Clark P.A. Growth at puberty. Journal of Adolescent Health. 2002; 31, 192-200.
- Ruiz J.R., Ortega F.B., Gutierrez A., Meusel D., Sjöström M., Castillo M.J. Health-related fitness assessment in childhood and adolescence: a

European approach based on the AVENA, EYHS and HELENA studies. *Journal of Public Health*. 2006; 14(5), 269-277.

- Ruiz J.R., Castro-Piñero J., Artero E.G., Ortega F.B., Sjöström M., Suni J., Castillo M.J. Predictive validity of health-related fitness in youth: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine* 2009; 43(12):909-923.
- Ruiz J.R., España-Romero V., Castro-Piñero J., Artero E.G., Ortega F.B., Cuenca García M, et al. [ALPHA-fitness test battery: Health-related field-based fitness tests assessment in children and adolescents]. *Nutr Hosp*. 2011; 26(6):1210-4.
- Sacks G., Swinburn B., Lawrence M. Obesity Policy Action framework and analysis grids for a comprehensive policy approach to reducing obesity. *Obes Rev*. 2009 Jan; 10(1):76-86.
- Saint-Maurice P.F., Laurson K.R., Kaj M., Csányi T. Establishing Normative Reference Values for Standing Broad Jump Among Hungarian Youth. *Res Q Exerc Sport*. 2015 Jun 26; 86 Suppl 1:37-44.
- Salvy S.J., Bowker J.C., Germeroth L., Barkley J. Influence of peers and friends on overweight/obese youths' physical activity. *Exerc Sport Sci Rev*. 2012; 40:127-132.
- Sartorio A., Lafortuna C.L., Pogliaghi S., Trecate L. The impact of gender, body dimension and body composition on hand-grip strength in healthy children. *J Endocrinol Invest*. 2002; 25:431-5.
- Schaefer F., Georgi M., Zieger A., Schärer K. Usefulness of bioelectric impedance and skinfold measurements in predicting fat-free mass derived from total body potassium in children. *Pediatr Res*. 1994; 35:617-624.

- Schwenk A., Beisenherz A., Römer K., Kremer G., Salzberger B., Elia M. Phase angle from bioelectrical impedance analysis remains an independent predictive marker in HIV-infected patients in the era of highly active antiretroviral treatment. *Am J Clin Nutr.* 2000 Aug; 72(2):496-501.
- Secchi J.D., García G.C., España-Romero V., Castro-Piñero J. Physical fitness and future cardiovascular risk in argentine children and adolescents: An introduction to the ALPHA test battery. *Arch Argent Pediatr.* 2014; 112(2):132-40.
- Seifert L., Komar J., Barbosa T., Toussaint H., Millet G., Davids K. Coordination pattern variability provides functional adaptations to constraints in swimming performance. *Sports Med.* 2014 Oct; 44(10):1333-45.
- Selberg O., Selberg D. Norms and correlates of bioimpedance phase angle in healthy human subjects, hospitalized patients, and patients with liver cirrhosis. *Eur J Appl Physiol.* 2002 Apr; 86(6):509-16.
- Serrano M.D.M., Collazos J.F.R., Romero S.M, Santurino M.S.M., Armesilla M.D.C., Cerro J.L.P. Dinamometría en niños y jóvenes de entre 6 y 18 años: valores de referencia, asociación con tamaño y composición corporal. *An Pediatr.* 2009; 70:340-8.
- Schranz N., Tomkinson G., Olds T. What is the Effect of Resistance Training on the Strength, Body Composition and Psychosocial Status of Overweight and Obese Children and Adolescents? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2013; 43:893-907.
- Silverman I.W. Age as a moderator of the secular trend for grip strength in Canada and the United States. *Ann Hum Biol.* 2015; 42(3):199-209.

- SIO, ADI. Standard Italiani per la Cura dell'Obesità. 2012/2013.
- Smith J.J., Eather N., Morgan P.J., Plotnikoff R.C., Faigenbaum A.D., Lubans D.R. The Health Benefits of Muscular Fitness for Children and Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2014; 44(9):1209-23.
- Soares Ferreira F., Ramos Duarte J.A. Overweight, obesity, physical activity, cardiorespiratory and muscular fitness in a Portuguese sample of high school adolescents. *Minerva Pediatr.* 2013 Feb; 65(1):83-91.
- Sun S.S., Chumlea W.C., Heymsfield S.B., Lukaski H.C, Schoeller D., Friedl K., Kuczmarski R.J., Flegal K.M., Johnson C.L., Hubbard V.S. Development of bioelectrical impedance analysis prediction equations for body composition with the use of a multicomponent 1–4 model for use in epidemiologic surveys. *Am J Clin Nutr* 2003; 77:331-40.
- Tambalis K.D., Panagiotakos D.B., Psarra G., Daskalakis S., Kavouras S.A., Geladas N., Tokmakidis S., Sidossis L.S. Physical fitness normative values for 6-18-year-old Greek boys and girls, using the empirical distribution and the lambda, mu, and sigma statistical method. *Eur J Sport Sci.* 2016 Sep; 16(6):736-46.
- Tanner J.M. The assessment of growth and development in children. *Arch Dis Child.* 1952; 27:10–33.
- Tanner J.M., Whitehouse R.H. Clinical longitudinal standards for height, weight, height velocity, weight velocity and stages of puberty *Arch Dis Child.* 1976; 51 (3):170-179.
- The ALPHA Fitness Test Battery for Children and Adolescents. www.thealphaproject.eu.

- Thivel D., Isacco L., Lazaar N., Aucouturier J., Ratel S., Dore E., et al: Effect of a 6-month school-based physical activity program on body composition and physical fitness in lean and obese schoolchildren. *Eur J Pediatr.* 2011; 170:1435-1443.
- Thivel D., Frelut M.L, Ring-Dimitriou S., Weghuber D., O'Malley G. Muscle Strength and Fitness in Pediatric Obesity: a Systematic Review from the European Childhood Obesity Group. *Obes Facts.* 2016; 9:52-63.
- Tsiros M.D., Coates A.M., Howe P.R.C., Grimshaw P.N., Walkley J., Shield A., Mallows R., Hills Andrew P., Kagawa M., Shultz S., Buckley J.D. Knee extensor strength differences in obese and healthy-weight 10-to 13-year-olds. *Eur J Appl Physiol.* 2013; 113:1415-1422.
- Tyrrell V.J., Richards G., Hofman P., Gillies G.F., Robinson E. and Cuteld W.S. Foot-to-foot bioelectrical impedance analysis: a valuable tool for the measurement of body composition in children. *International Journal of Obesity.* 2001; 25, 273±278.
- Ulijaszek S.J., Johnston F.E., Preece M.A.. The Cambridge encyclopedia of human growth and development. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1998.
- Ulrich S., Hildenbrand F.F., Treder U., Fischler M., Keusch S., Speich R. Reference values for the 6-minute walk test in healthy children and adolescents in Switzerland. *BMC Pulm Med.* 2013; 13:49,
- Valerio G., Licenziati M.R., Manco M., Ambruzzi A.M., Bacchini D., Baraldi E., Bona G., Bruzzi P., Cerutti F., Corciulo N., Crinò A., Franzese A., Grugni G., Iughetti L., Lenta S., Maffei C., Marzuillo P., Miraglia Del Giudice E., Morandi A., Morino G., Moro B., Perrone L., Prodam F., Ricotti R., Santamaria F., Zito E., Tanas R.; Studio Obesità

Infantile della Società Italiana di Endocrinologia e Diabetologia Pediatrica. [Health consequences of obesity in children and adolescents]. *Minerva Pediatr.* 2014 Oct; 66(5):381-414.

- Verdich C., Clement C., Sorensen T.I.A. Nutrient-gene interactions in the control of obesity. Functional food, ageing and degenerative disease. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. 2004; 223-259.
- Verney J., Metz L., Chaplais E., Cardenoux C., Pereira B., Thivel D. Bioelectrical impedance is an accurate method to assess body composition in obese but not severely obese adolescents. *Nutr Res.* 2016 Jul; 36(7):663-70.
- Weiss R., Dziura J., Burgert T.S., Tamborlane W.V., Taksali S.E., Yeckel C.W., Allen K., Lopes M., Savoye M., Morrison J., Sherwin R.S., Caprio S. Obesity and the metabolic syndrome in children and adolescents. *N Engl J Med.* 2004 Jun 3; 350(23):2362-74.
- Wells J.C.K, Fuller N.J., Dewit O., Fewtrell M.S., Elia M., Cole T.J. Four-component model of body composition in children: density and hydration of fat-free mass and comparison with simpler models. *Am J ClinNutr.* 1999; 69:904-912.
- Wells J.C.K. Toward Body Composition Reference Data for Infants, Children, and Adolescents American Society for Nutrition. *Adv. Nutr.* 2014; 5:320-329.
- WHO. Physical status: the use and interpretation of anthropometry. Report of a WHO Expert Committee. *World Health Organ Tech Rep Ser* 1995; 854:1-452.

- WHO. Database on Child Growth and Malnutrition, compiled by Mercedis de Onis and Monika Blössner. Genova World Health Organization. 1997; 710 p.
- WHO. The world health report 2000 - Health systems: improving performance. World Health Organization. 2000.
- WHO. Obesity and overweight, su World Health Organization.URL consultato nel febbraio 2017.
- Wickramasinghe V.P., Lamabadusuriya S.P., Cleghorn G.J., Davies P.W. Assessment of body composition in Sri Lankan children: validation of a bioelectrical impedance prediction equation. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2008; 62, 1170-1177.
- Wind A.E., Takken T., Helders P.J.M., Engelbert R.H.H. Is grip strength a predictor for total muscle strength in healthy children, adolescents, and young adults? *Eur J Pediatr*. 2010; 169(3):281-7.
- Witvrouw E., Mahieu N., Danneels L., McNair P. Stretching and injury prevention: an obscure relationship. *Sports Med*. 2004; 34(7):443-9.
- Wong T.W., He Q.Q., Du L., Jiang Z.Q., Yu T.S., Qiu H. Physical activity cardiorespiratory fitness and obesity among Chinese children. *Prev Med*. 2011; 52:109.
- Yamada Y., Watanabe Y., Ikenaga M., Yokoyama K., Yoshida T., Morimoto T., Kimura M. Comparison of single- or multifrequency bioelectrical impedance analysis and spectroscopy for assessment of appendicular skeletal muscle in the elderly. *J Appl Physiol*. 2013 Sep; 115(6):812-8.

- Yu C., Sung R., Hau K., Lam P.K., Nelson E.A., So R.C. The effect of diet and strength training on obese children's physical self-concept. *J Sports Med Phys Fit.* 2008; 48(1):76-82.
- Zangara A., Zangara A., Koprivec D. *Dietologia. Alimenti, alimentazione nel sano e nel malato, integratori alimentari.* Ed. Piccin. 2014; pp.536.
- Zimmet P., Alberti K.G., Kaufman F., Tajima N., Silink M., Arslanian S., Wong G., Bennett P., Shaw J., Caprio S., IDF Consensus Group. The metabolic syndrome in children and adolescents-an IDF consensus report. *Pediatr. Diabetes.* 2007; 8:299-306.